

REPUBLIKA HRVATSKA
SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA
U OSIJEKU

POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU

Dario Iljkić, dipl. ing. polj.

**GENOTIPSKI I AGROEKOLOŠKI UTJECAJI NA
KONCENTRACIJE MIKROELEMENATA I PRINOS KUKURUZA**

DOKTORSKI RAD

Osijek, 2015.

REPUBLIKA HRVATSKA
SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA
U OSIJEKU
POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU

Dario Iljkić, dipl. ing. polj.

**GENOTIPSKI I AGROEKOLOŠKI UTJECAJI NA
KONCENTRACIJE MIKROELEMENATA I PRINOS KUKURUZA**

- Doktorski rad -

Osijek, 2015.

REPUBLIKA HRVATSKA
SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA
U OSIJEKU
POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU

Dario Iljkić, dipl. ing. polj.

**GENOTIPSKI I AGROEKOLOŠKI UTJECAJI NA
KONCENTRACIJE MIKROELEMENATA I PRINOS KUKURUZA**

- Doktorski rad -

Mentor: izv. prof. dr. sc. Mirta Rastija

Povjerenstvo za ocjenu:

- 1. dr. sc. Vlado Kovačević, redoviti profesor Poljoprivrednog fakulteta u Osijeku, predsjednik**
- 2. dr. sc. Mirta Rastija, izvanredni profesor Poljoprivrednog fakulteta u Osijeku, mentor i član**
- 3. dr. sc. Domagoj Šimić, docent, Poljoprivredni institut Osijek, član**

Osijek, 2015.

REPUBLIKA HRVATSKA
SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA
U OSIJEKU
POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU

Dario Iljkić, dipl. ing. polj.

**GENOTIPSKI I AGROEKOLOŠKI UTJECAJI NA
KONCENTRACIJE MIKROELEMENATA I PRINOS KUKURUZA**

- Doktorski rad -

Mentor: izv. prof. dr. sc. Mirta Rastija

**Javna obrana doktorskog rada održana je 06. veljače 2015. godine pred
Povjerenstvom za obranu:**

- 1. dr. sc. Zdenko Lončarić, redoviti profesor Poljoprivrednog fakulteta u Osijeku, predsjednik**
- 2. dr. sc. Mirta Rastija, izvanredni profesor Poljoprivrednog fakulteta u Osijeku, mentor i član**
- 3. dr. sc. Domagoj Šimić, docent, Poljoprivredni institut Osijek, član**

Osijek, 2015.

Izuzetno veliku zahvalu dugujem prof. dr. sc. Vladi Kovačeviću na svemu učinjenom za mene i ovu disertaciju. Poštovanom profesoru, uzoru u poštenju, radu, znanosti i struci iskreno hvala za životne vrijednosti koje je utkao u mene.

Veliku zahvalu dugujem mentorici prof. dr.sc. Mirti Rastiji na uloženom vremenu, trudu savjetima i strpljenju prilikom vođenja i pisanja disertacije.

Riječi zahvale upućujem prof. dr. sc. Zdenku Lončariću i doc. dr. sc. Domagoju Šimiću na pomoći, suradnji i kvalitetnim sugestijama.

Zahvalu upućujem svim kolegama i prijateljima Poljoprivrednog fakulteta, a posebno članovima Zavoda za Agroekologiju.

I na kraju veliko hvala Miji, Ivi i Martini na podršci i strpljenju te mojoj obitelji!

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Doktorski rad

Poljoprivredni fakultet u Osijeku

Poslijediplomski doktorski studij: Poljoprivredne znanosti

Smjer: Oplemenjivanje bilja i sjemenarstvo

UDK: 633.15:631.524.01+631.147:631.81.095.337

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti

Znanstveno polje: Poljoprivreda

Grana: Bilinogojstvo

Genotipski i agroekološki utjecaji na koncentracije mikroelemenata i prinos kukuruza

Dario Ilkić, dipl. ing. polj.

Rad je izrađen na Poljoprivrednom fakultetu Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Mentor: izv. prof. dr. sc. Mirta Rastija

U ovom istraživanju utvrđen je utjecaj hibrida, godine i lokacije (okolina) na prinos zrna kukuruza, koncentracije željeza (Fe), mangana (Mn), cinka (Zn) i bakra (Cu) u listu i zrnu te sadržaj proteina, ulja i škroba u zrnu kukuruza. Poljski pokus je proveden po slučajnom bloknom raspodu u četiri ponavljanja na dvije lokacije (Osijek i Podgorač), dvije godine (2010. i 2011.) i sa 10 komercijalnih hibrida kukuruza Poljoprivrednog instituta Osijek različitih FAO skupina (DRAVA 404, OS 430, OSSK 444, OS 499, OSSK 515, OS 5717, OSSK 552, OSSK 596, OSSK 602 i OSSK 617). Prema pojedinačnim i kombiniranim analizama varijance na prinos zrna su utjecali hibrid (H), lokacija (L) i godina (G) kao i sve međusobne interakcije. Prosječno ostvaren prinos zrna kukuruza u istraživanju iznosio je 8,61 t ha⁻¹. Prosječno najmanji prinos zrna je ostvario hibrid OSSK 552 (8,20 t ha⁻¹), a najveći OS 499 (8,92 t ha⁻¹). Na koncentraciju mikroelemenata u listu i zrnu značajno su utjecali svi istraživani glavni čimbenici dok lokacija nije bila statistički opravdana za koncentraciju Fe odnosno godina za koncentraciju Cu u zrnu. U listu su utvrđene sljedeće prosječne vrijednosti koncentracije mikroelemenata: 131 mg Fe kg⁻¹, 90 mg Mn kg⁻¹, 26,1 mg Zn kg⁻¹ i 7,9 mg Cu kg⁻¹ dok su u zrnu one iznosile: 20,9 mg Fe kg⁻¹, 4,58 mg Mn kg⁻¹, 17,5 mg Zn kg⁻¹ i 1,79 mg Cu kg⁻¹ uz značajna variranja u listu i zrnu. Sadržaj proteina, ulja i škroba je bio pod značajnim utjecajem hibrida, lokacije i godine uz izuzetak utjecaja godine za sadržaj ulja odnosno utjecaja lokacije i godine za sadržaj škroba u zrnu kukuruza. Prosječan sadržaj proteina u zrnu je iznosio 7,88 % uz variranje od 7,51 % (OSSK 596) do 8,69 % (OSSK 444), ulja 3,45 % uz variranje od 3,15 % (OSSK 602) do 3,81 % (OS 430) i škroba 73,0 % uz variranje od 72,5 % (OS 430) do 73,6 % (OS 499 i OSSK 552). Ovaj doktorski rad upućuje na daljnje istraživanje zbog boljeg shvaćanja složenog odnosa genotipova i okoline odnosno fizikalnih i kemijskih svojstava tla i vremenskih prilika.

Broj stranica: 119

Broj slika: 14

Broj tablica: 50

Broj literaturnih navoda: 148

Jezik izvornika: hrvatski

Ključne riječi: hibridi kukuruza, agroekološki uvjeti, mikroelementi, kvaliteta zrna

Datum obrane: 06. veljače 2015.

Povjerenstvo za obranu:

1. prof. dr. sc. Zdenko Lončarić – predsjednik
2. izv. prof. dr. sc. Mirta Rastija – mentor i član
3. doc. dr. sc. Domagoj Šimić – član

Rad je pohranjen u:

Nacionalna i sveučilišna knjižnica u Zagrebu, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Sveučilište u Zagrebu, Sveučilište u Rijeci, Sveučilište u Splitu

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Josip Juraj Strossmayer in Osijek

PhD thesis

Faculty of Agriculture in Osijek

Postgraduate study: Agricultural sciences

Course: Plant breeding and seed science

UDK: 633.15:631.524.01+631.147:631.81.095.337

Scientific Area: Biotechnical Sciences

Scientific Field: Agriculture

Branch: Plant production

Genotype and agroecological impacts on the concentrations of microelements and maize grain yield

Dario Iljkić, MsC

Thesis performed at Faculty of Agriculture in Osijek, University of Josip Juraj Strossmayer in Osijek
Supervisor: prof. dr. sc. Mirta Rastija

This study examined effect of hybrids, year and location (environment) on maize grain yield, the concentration of iron (Fe), manganese (Mn), zinc (Zn) and copper (Cu) in leaf and grain and furthermore, protein, oil and starch in maize grain. A field experiment was conducted in a randomized complete block with four replications at two locations (Osijek and Podgorač), during two years (2010 and 2011) and with 10 commercial maize hybrids different FAO groups originating from Agricultural Institute Osijek (DRAVA 404, OS 430, OSSK 444, OS 499, OSSK 515, OS 5717, OSSK 552, OSSK 596, OSSK 602 i OSSK 617). As a result of one-way and a factorial analyzes of variance, maize grain yield were significantly influenced by hybrid (H), location (L) and years (G) and all interaction. The average achieved maize grain yield of experiment was 8.61 t ha⁻¹. Maize hybrid OSSK 552 achieved the smallest average maize grain yield (8.20 t ha⁻¹) and on the contrary the highest maize grain yield had OS 499 hybrid (8.92 t ha⁻¹). Nutrient concentration in leaf and grain were significantly different for all main factors, while the location was not statistically justified only for the Fe grain concentration and year was not statistically justified for Cu grain concentration. The average leaf trace elements concentrations were 131.0 mg Fe kg⁻¹, 90.0 mg Mn kg⁻¹, 26.1 mg Zn kg⁻¹ and 7.9 mg Cu kg⁻¹, whereas grain trace elements concentration were 20.9 mg Fe kg⁻¹, 4.58 mg Mn kg⁻¹, 17.5 mg Zn kg⁻¹ and 1.79 mg Cu kg⁻¹. Protein, oil and starch content in maize grain were significantly affected by hybrids, locations and years with the exception of the year impact of the oil content and the impact location and year on the content of starch in maize grain. The average protein content was 7.88 % with a variation of 7.51 % (OSSK 596) to 8.69 % (OSSK 444), oil content was on average 3.45 % with a variation of 3.15 % (OSSK 602) to 3.81 % (OS 430) and starch content was on average 73.0 % with a variation of 72.5 % (OS 430) to 73.6 % (OS 499 and OSSK 552). This dissertation suggests further research for better understanding of genotypes and environments complex relation.

Number of pages: 119

Number of figures: 14

Number of tables: 50

Number of references: 148

Original in: Croatian

Key words: maize hybrids, agroecological conditions, trace elements, seed quality

Date of the thesis defense: February 6th 2015.

Reviewers:

1. **PhD Zdenko Lončarić, professor – commission president**
2. **PhD Mirta Rastija, professor – PhD supervisor, member**
3. **PhD Domagoj Šimić, scientific advisor– member**

Thesis deposited in:

National and University Library, University of Josip Juraj Strossmayer in Osijek, University of Zagreb; University of Rijeka; University of Split

KAZALO

1. UVOD	1
1. 1. Pregled literature	3
1. 2. Cilj istraživanja	16
2. MATERIJAL I METODE RADA	17
2. 1. Opis pokusa	17
2. 2. Karakteristike hibrida u istraživanju	19
2. 3. Uzimanje i priprema uzoraka	25
2. 3. 1. Uzimanje i priprema uzoraka tla	25
2. 3. 2. Uzimanje i priprema uzoraka biljnog materijala	26
2. 4. Kemijske analize tla	26
2. 5. Fizikalne analize tla	27
2. 6. Kemijske analize biljnog materijala	27
2. 7. Statistička obrada podataka	28
3. AGROEKOLOŠKI UVJETI UZGOJA	29
3. 1. Vremenske prilike u 2010. godini	29
3. 2. Vremenske prilike u 2011. godini	33
3. 3. Svojstva tla	38
3. 3. 1. Kemijska svojstva tla	38
3. 3. 2. Fizikalna svojstva tla	39
4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA	43
4. 1. Prinos zrna kukuruza	43
4. 2. Vlaga zrna kukuruza	45
4. 3. Koncentracija mikroelemenata u listu	47
4. 3. 1. Koncentracija željeza u listu ispod klipa	47
4. 3. 2. Koncentracija mangana u listu ispod klipa	49
4. 3. 3. Koncentracija cinka u listu ispod klipa	52
4. 3. 4. Koncentracija bakra u listu ispod klipa	54
4. 4. Koncentracija mikroelemenata u zrnu kukuruza	57
4. 4. 1. Koncentracija željeza u zrnu kukuruza	57
4. 4. 2. Koncentracija mangana u zrnu kukuruza	59
4. 4. 3. Koncentracija cinka u zrnu kukuruza	61
4. 4. 4. Koncentracija bakra u zrnu kukuruza	64
4. 5. Sadržaj proteina, ulja i škroba u zrnu kukuruza	66
4. 5. 1. Sadržaj proteina u zrnu	66
4. 5. 2. Sadržaj ulja u zrnu	68
4. 5. 3. Sadržaj škroba u zrnu	71
4. 6. Korelacije između istraživanih svojstava	73

5. RASPRAVA	75
5. 1. Prinos i vlaga zrna	75
5. 2. Koncentracije mikroelemenata u listu i zrnu	79
5. 3. Sadržaj proteina, ulja i škroba u zrnu kukuruza	87
6. ZAKLJUČCI	92
7. LITERATURA	95
8. SAŽETAK	110
9. SUMMARY	111
10. PRILOG	113
10. 1. Popis tablica	113
10. 2. Popis grafikona	117
10. 3. Popis slika	117
Životopis	119

1. UVOD

Kukuruz (*Zea mays* L.) je jednogodišnja, stranooplodna kulturna biljka visokog potencijala rodности. Uz pšenicu i rižu, jedna je od najzastupljenijih žitarica na svjetskim oranicama što je rezultat širokog areala rasprostranjenosti. Prema statističkim podacima FAOSTAT-a kukuruz je u razdoblju od 2000. do 2010. godine prosječno uzgajan na oko 149 milijuna hektara svjetskih oranica uz ukupnu proizvodnju od oko 717 milijuna tona i prosječni prinos zrna od 4,8 t ha⁻¹ (www.faostat.fao.org). U Republici Hrvatskoj kukuruz je najzastupljeniji usjev i prosječno se od 2000. do 2013. godine uzgajao na oko 300 000 ha uz ukupnu proizvodnju 1,81 milijuna tona i prosječan prinos oko 6,0 t ha⁻¹ (www.dzs.hr). Kukuruz ima nezamjenjivu primjenu u hranidbi stoke gdje se koristi kao zrno ili silaža dok u prehrani ljudi ima značajnu ulogu kako u izvornom tako i u prerađenim oblicima. Veliko je gospodarsko značenje kukuruza u industrijskoj preradi, a u posljednje vrijeme i u proizvodnji biogoriva.

Usjevi su vrlo često izloženi nepovoljnim biotskim i abiotičkim čimbenicima koji negativno utječu na metabolizam biljaka, njihov rast i razvoj kao i na prinos. Primarna proizvodnja hrane u svijetu je, između ostalog, ograničena plodnošću tla i klimom. Nedovoljne količine oborina u kombinaciji s visokim temperaturama često su glavni ograničavajući čimbenici rasta i razvoja biljaka na koje se može najmanje utjecati. Hrvatska, osobito njen istočni dio, pripada optimalnom agroekološkom uzgojnom području kukuruza, ali je često značajno variranje prosječnog prinosa kukuruza po godinama uvjetovano prvenstveno sušom i visokim temperaturama u ljetnim mjesecima tijekom cvatnje i oplodnje kukuruza.

Osim utjecaja klime, za postizanje visokih prinosa kukuruz zahtijeva odgovarajuću plodnost tla koja je vrlo često narušena nedostatkom ili suviškom pojedinih mineralnih elemenata. Kiselost tla je jedan od globalnih limitirajućih čimbenika postizanja visokih prinosa. Općenito, niska plodnost tla na kiselim tlima rezultat je toksičnosti Al, Mn i Fe te nedostatka, odnosno nepristupačnosti P, Ca i Mg. Biljke za normalan razvoj i svoj cjelokupni životni ciklus trebaju najmanje 16 kemijskih elemenata koje uglavnom usvajaju iz tla. Vrlo važnu ulogu imaju esencijalni mikroelementi čija je uloga gotovo jednaka makroelementima, iako se u tlu i biljci nalaze u vrlo malim koncentracijama. U uvjetima suvišne kiselosti raspoloživost većine mikroelemenata je povećana, ali njihovo usvajanje i translokacija u biljku ovisi o mnogim čimbenicima. Mikroelementi poput Fe, Mn, Zn i Cu imaju raznovrsnu i nezamjenjivu fiziološku ulogu u metabolizmu svih živih bića. U posljednje vrijeme veliki značaj se pridaje

istraživanjima usmjerenima prema postizanju adekvatne količine pojedinih mikroelemenata u zrnima žitarica koje predstavljaju glavne namirnice u prehrani ljudi. Mikroelementi imaju važnu ulogu u biljnoj i životinjskoj, odnosno ljudskoj ishrani. Nedovoljna količina mikroelemenata u tlu ima niz negativnih posljedica na razvoj usjeva, prinos i kvalitetu, što u konačnici utječe na zdravlje životinja i ljudi. Zrno kukuruza je općenito slabije nutritivne vrijednosti i deficitarno mikroelementima. S aspekta raširene upotrebe kukuruza kao stočne hrane, veća koncentracija mikroelemenata u zrnu također je vrlo poželjno svojstvo. Uz to, veći sadržaj pojedinih mikroelemenata u sjemenu poboljšava rani porast i produktivnost biljaka.

Pored agroekoloških čimbenika koji utječu na rast i razvoj kukuruza, vrlo je bitna i uloga genotipa jer različite genotipove karakterizira sposobnost različitog usvajanja postojećih elemenata u tlu pod istim agroekološkim uvjetima. Izborom genotipa odnosno hibrida kukuruza za određeno uzgojno područje moguće je postići visoke prinose zrna kao i povećano primanje i koncentraciju mikroelemenata u zrnu.

1. 1. Pregled literature

Prinos i kvaliteta zrna kukuruza su vrlo složena svojstva koja ovise o agroekološkim uvjetima proizvodnje i genetskim činiteljima. Izuzetno velik značaj u proizvodnji kukuruza imaju voda i toplina. Kukuruz je biljka koja zahtjeva adekvatnu opskrbu vodom za fiziološki razvoj i dobar prinos. Međutim, potrebe za vodom se razlikuju između faza razvoja. Najmanje su potrebe u početnom stadiju, a svoj maksimum dostižu u reproduktivnoj fazi i nalijevanju zrna. Stres izazvan sušom u kombinaciji s visokim temperaturama za vrijeme cvatnje, polinacije i oplodnje odgađa svilanje te izaziva sušenje svile i abortivnost polena što može rezultirati neučinkovitom oplodnjom ili nepotpuno razvijenim zrnom. Lauer (2006.) smatra da tijekom ove faze može doći do smanjenja prinosa od 3 do 8 % za svaki dan trajanja stresa. Prinos kukuruza tijekom godina varira upravo zbog nedovoljne količine, odnosno neravnomjernog raspreda oborina i visokih temperatura zraka naročito u vrijeme metličanja i svilanja (Shaw, 1977.; Josipović i sur., 2005.; Kovačević i sur., 2009.)

Jedan od ograničavajućih čimbenika koji se javlja prilikom uzgoja kultiviranog bilja pa tako i kukuruza svakako je kiselost tla. Zakiseljavanja tla je vrlo spor i dugotrajan prirodni proces nakupljanja H^+ iona u tekućoj i čvrstoj fazi tla (Miljković, 2005.). Glavni izvori H^+ iona u tlu su ugljikovodična kiselina (H_2CO_3), neorganske kiseline kao H_2SO_4 , HNO_3 i H_3PO_4 te organske i huminske kiseline jednostavnog sastava. Mesić i sur. (2009.) dijele prirodnu kiselost na geogenu i pedogenu. Kiselost geogenog porijekla je rezultat razvoja tla na kiselim matičnim supstratima, dok je kiselost pedogenog porijekla rezultat razvoja tla na neutralnim i bazičnim matičnim supstratima. Pod utjecajem vremenskih prilika dolazi do ispiranja alkalnih kationa s adsorpcijskog kompleksa koji se zamjenjuju vodikovim ionima pri čemu kiselost tla raste. Pored prirodnih procesa vrlo veliku ulogu u zakiseljavanju tla ima sve intenzivnija poljoprivredna proizvodnja, naročito mineralna gnojidba kao i industrijsko zagađenje, posebno kisele kiše.

Reakcija tla se izražava pH vrijednošću koja predstavlja negativan dekadski logaritam koncentracije vodikovih iona (Mengel i sur., 2001.). Reakcija tla je značajan ekološki čimbenik o kojem ovise životne aktivnosti podzemnih organa biljaka, a kod većine obradivih tala nalazi se unutar granica pH vrijednosti od 4 do 8. Smanjivanje pH tla do određene granice povećava topivost Mn, Zn, Cu i Fe (Hodges, 2010.). Koncentracija H^+ u otopini tla predstavlja aktualnu kiselost koja ima direktan učinak na fizikalno-kemijske i biološke

procesu. Usvojeni H^+ zajedno s usvojenim kationima Al^{3+} predstavlja potencijalnu kiselost koja je puno veća u obrađivanim tlima.

Prema podacima Mesić i sur. (2009.) u Hrvatskoj je oko 32 % ukupnih poljoprivrednih površina kiselo pri čemu prednjači istočni dio zemlje tzv. Panonska regija u kojem se odvija glavina poljoprivredne proizvodnje u Hrvatskoj. Autori navode kako od ukupne površine kiselih tala u Panonskoj regiji dominiraju dva tipa tla i to pseudoglej i lesivirano tlo. Slične rezultate prikazuju Kovačević i sur. (1993.) koji navode kako su kisela tla široko rasprostranjena na području Hrvatske pri čemu je oko 50 % oraničnih površina u većoj ili manjoj mjeri kiselo.

Lončarić i sur. (2005.) su za potrebe izračuna preporuke za kalcizaciju analizirali veliki broj uzoraka kiselih tala sa sto različitih mjesta u istočnoj Hrvatskoj te utvrdili kako se kod više od 50 % uzoraka pH vrijednost kretala od 3,48 do 4,50 što ih svrstava u kategoriju ekstremno kiselih do vrlo kiselih tala, dok je ostatak uzoraka varirao od jako do slabo kiselih tala. pH reakcija tla na biljke utječe neposredno povećanjem koncentracije H^+ i OH^- iona ili posredno preko utjecaja na niz agrokemijskih svojstava tla (Vukadinović i Lončarić, 1998.).

Von Uexkull i Mutert (1995.) smatraju kako je oko 30 % svjetskih površina bez leda kiselo, dok Liu (2001., cit. De la Fuente-Martinez i Herrera-Estrella, 1999.) navodi kako oko 40 % svjetskih kultiviranih površina ima višu ili nižu kiselu reakciju tla pri čemu je toksičnost aluminija glavni limitirajući čimbenik rasta na takvim tlima. Također, Hede i sur. (2001., cit. Haug, 1983.) ističu kako je na 30 – 40 % svjetskih obrađivih površina kiselost tla ograničavajući čimbenik biljne proizvodnje.

U slučaju suvišne kiselosti javljaju se negativne posljedice za biljku poput toksičnosti vodikovih iona te iona aluminija, željeza i mangana, smanjena je raspoloživost mikorelemenata u anionskom obliku, javlja se nedostatak fosfora, kalcija, magnezija i molibdena zbog procesa fiksacije. Nadalje, dolazi do smanjene mikrobiološke aktivnosti kao i povećane pristupačnosti teških metala (Fe, Mn, Zn, Cu, Ni) i toksičnih teških metala poput kroma, kadmija, olova i drugih. Ovakav štetan utjecaj zakiseljavanja tla, naročito u vlažnim područjima ima za posljedicu degradaciju, a u nekim slučajevima i destrukciju tla.

U uvjetima niske pH reakcije tla prinos usjeva može biti niži nekoliko puta u usporedbi s tlima neutralne reakcije ili kalciziranim površinama (Baligar i sur., 1997.; Kovačević i sur., 2006.; 2010.; Okolo i sur., 2007.; Antunović i sur., 2008.; Rastija i sur., 2010.). Antunović i sur. (2002.) navode kako je prinos kukuruza na kiselom tlu bio manji za 25 % u odnosu na prinos postignut na tlu neutralne reakcije. Fageria i Baligar (1999.) zaključuju kako je pH reakcija tla važna za rast usjeva i usvajanje mineralnih elemenata. Navode kako je riža najtolerantnija, a pšenica najosjetljivija na kiselost tla te kako usvajanje većine mikroelemenata u biljku opada porastom pH tla. Kovačević i sur. (2006.) ističu prednosti kalcizacije kiselih tala te su u višegodišnjim pokusima utvrdili kako su prinosi na kalciziranim površinama bili veći za 50 % (kukuruz), 49 % (suncokret) i 30 % (ječam) u odnosu na kontrolni tretman (kiselo tlo).

Biljke imaju sposobnost uz pomoć fotosinteze pretvoriti vodu, zrak, sunčevu svjetlost i mineralne elemente u hranu koja je osnovni preduvjet za život ljudi na zemlji. Proizvodnja organske tvari je proces koji ovisi o genetskom potencijalu biljke, okolišnim čimbenicima i dostupnosti mineralnih elemenata u tlu. Neophodni elementi za razvoj biljke su makro i mikroelementi pri čemu mikroelemente biljka treba u vrlo malim količinama. Rast i razvoj usjeva te kvaliteta i količina prinosa može biti smanjena ako u tlu nedostaje bilo koji od osam neophodnih mikroelemenata (B, Zn, Cu, Mn, Fe, Co, Ni i Mo) ili nema odgovarajuće ravnoteže s ostalim elementima. Alloway (2008.) smatra kako je intenzivna poljoprivredna proizvodnja i niska opskrbljenost pristupačnih mikroelemenata u tlu općenito glavni razlog nedostatka mikroelemenata u tlu širom svijeta. Sadržaj organske tvari, pH tla i sadržaj gline imaju najveći utjecaj na pristupačnost mikroelemenata u tlu, ali i temperatura i vlažnost tla.

Pored prinosa kao glavnog cilja proizvodnje kukuruza, vrlo je bitan i elementarni sastav zrna. Mineralni elementi imaju nezamjenjivu ulogu u biokemijskim i fiziološkim funkcijama svakog organizma. Dok više biljke primarno uzimaju elemente iz tla, životinje i ljudi uglavnom ovise o biljkama koje ih opskrbljuju svim potrebnim elementima. Optimalna koncentracija pojedinih mikroelemenata u zrnu kukuruza ima dvojaku ulogu. S jedne strane utječe na zdravlje konzumenata, a s druge, pruža budućoj biljci određenu sposobnost otpornosti. Kastori i Maksimović (2008.) ističu bitnu ulogu mikroelemenata za prinos i kvalitetu, kao i za otpornost biljaka prema bolestima, suši, visokim i niskim temperaturama i slično. Nedostatak mikroelemenata u biljkama uzrokuje smanjenje njihove otpornosti na

okolišne čimbenike što rezultira nižim prinosom i kvalitetom (Alloway, 2008.). Povećani sadržaj mikorelemenata, pojedinačno ili zajedno u različitim kombinacijama, može pozitivno djelovati na rast i razvoj usjeva jer poboljšava klijanje i nicanje, vitalnost biljaka, rezistentnost prema gljivičnim, bakterijskim i virusnim bolestima, tolerantnost na stresne uvjete i drugo (Pearson i Rengel, 1995.; McCay i sur., 1995.; Graham i Welch, 1996.).

Kennedy i sur. (2003.) procjenjuju drastičan nedostatak mikroelemenata u ljudskoj prehrani. Prema istim autorima oko 60 % svjetske populacije pati od nedostatka željeza, oko 30 % od nedostatka cinka i joda te oko 15 % od nedostatka selen. Svjetska zdravstvena organizacija (www.who.int) navodi kako je najčešći i najrašireniji nedostatak željeza u prehrani ljudi koji pogađa nerazvijene djelove svijeta, ali i zemlje u razvoju. Prema istom izvoru oko 30 % svjetske populacije je anemično uglavnom zbog nedostatka željeza pri čemu je pogođena svaka druga trudnica i oko 40 % predškolske djece. Nedostaci željeza u kombinaciji s nedostatkom cinka dovode do niza ozbiljnih zdravstvenih problema naročito kod djece u razvoju.

Željezo (Fe) je neophodan element za biljku, ljude i životinje. Nedostatak Fe predstavlja problem s obzirom da taj mikroelement sudjeluje u stvaranju i funkcioniranju klorofila, prijenosu energije u biljci, uključen je u fiksaciji dušika, sastavni je dio nekih enzima i proteina, ima ulogu u disanju i metabolizmu biljaka i dr. Izuzetno je obilan u većini tala te čini oko 5 % težine zemljine kore. Većina željeza u tlu se nalazi u silikatnim mineralima ili kao željezni oksidi i hidroksidi (getit, hematit, magnetit i dr.) u obliku topivih Fe^{2+} , Fe^{3+} , $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$ i $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$. Iako većina tala sadrži dovoljne količine ukupnog Fe koncentracije dostupne biljci mogu biti nedovoljne što ovisi o nizu čimbenika poput temperature tla, velikoj vlazi, zbijenosti i slaboj prozračnosti, prisustvu CaCO_3 i HCO_3^- i reakciji s organskom tvari (Römheld i Nikolic, 2007.).

Kod ljudi željezo ima važnu ulogu za mnoge procese uključujući imunološku funkciju, regulaciju temperature, metabolizam energije, kongitivni razvoj i drugo, a ljudski organizam sadrži oko 5 g Fe (Wood i Ronnenberg, 2006.). Sastavni je dio dva proteina (hemoglobin i mioglobin) koji su uključeni u prijenos i metabolizam kisika. Preporučene dnevne količine (RDA) ovise o spolu i dobi i kreću se od 8 do 11 mg/danu za muškarce i od 8 do 18 mg/danu za žene dok u trudnoći te vrijednosti dostižu 27 mg/dan (www.nap.edu).

Posebno treba istaknuti ulogu pH tla na pristupačnost Fe jer je u uvjetima visokog pH smanjena pristupačnost dok kisela tla povećavaju dostupnost Fe, ali do određene točke toksičnosti. Slično potvrđuju brojna istraživanja.. Povećanje pH vrijednosti i kationskog izmjenjivačkog kapaciteta (KIK-a) utječe na smanjenje pristupačnosti Fe i Mn ekstrahiranih DTPA otopinom (Zhang i sur., 2014.). Istraživanje Lončarića i sur. (2011.) pokazuje kako je prosječan sadržaj Fe na kiselim tlima iznosio $25,9 \text{ g kg}^{-1}$, a na alkalnim gotovo jednak, $25,2 \text{ g kg}^{-1}$. Međutim otopinom EDTA (etilendiamintetraoctena kiselina) je ekstrahirano prosječno $50,9 \text{ mg kg}^{-1}$ Fe na kiselom tlu, a na alkalnom $11,4 \text{ mg kg}^{-1}$ Fe, što dokazuje kako pH tla ima velik utjecaj na pristupačnost Fe za biljku.

Çelik i sur. (2010.) navode kako je važan i međusobni odnos Fe i K jer povećano usvajanje K ima antagonistički učinak na usvajanje Fe. Autori su utvrdili kako najveće količine dodanog K i Fe u hidroponskom uzgoju kukuruza imaju za posljedicu smanjeno usvajanje Mn, Zn, Cu i Na u korijenu i izdanku.

Biljke željezo najčešće usvajaju kao Fe^{2+} i Fe^{3+} te u obliku kelata (FeDTPA , FeEDTA i dr.) i Fe-fitosiderofora. Međutim, usvajanje mora biti neprekidno tijekom rasta, jer je oko 85 % Fe u biljci vezano i ne može se premještati iz starijih u mlađe listove, odnosno premještanje je vrlo sporo zbog čega se nedostatak prvo javlja na mlađim listovima (Kastori i Maksimović, 2008.). Prema Vukadinoviću i Lončariću (1998.) koncentracija Fe u biljkama varira od 50 do 1000 ppm dok vrijednost za žitarice iznosi 50 - 80 ppm u zrnu. Bergmann (1992.) navodi da su uobičajene koncentracije Fe u biljkama od 50 do 200 ppm, ali i da postoje puno veće vrijednosti, čak do 2000 ppm.

Navedeno potvrđuje i istraživanje Kovačevića i sur. (2004b.) koji su su utvrdili variranje od 137 do 222 mg kg^{-1} Fe u listu ispod klipa početkoma svilanja kod 20 hibrida kukuruza, dok Gumze (2012.) navodi prosjek od 100 mg kg^{-1} Fe u suhoj stvari lista, a Aref (2012.) od 109 do 123 mg kg^{-1} . Prema Schulteu (2004.) kukuruz, lucerna i strne žitarice su tolerantne, dok je većina voćnih vrsta osjetljiva na nedostatak pristupačnog Fe. Pored utjecaja genotipa Glowacka (2013.) navodi kako i između godina postoje variranja u pogledu usvajanja Fe u biljku kukuruza. Autor navodi kako je u godini s manje oborina koje su pri tom i

neravnomjerno raspoređene, koncentracija Fe u biljci iznosila $67,5 \text{ mg kg}^{-1}$, dok je u preostale dvije godine istraživanja iznosila $122,1 \text{ mg kg}^{-1}$ odnosno $112,9 \text{ mg kg}^{-1}$.

Mangan (Mn) je neophodan element za mnoge funkcije u biljci te sudjeluje u prijenosu elektrona tijekom fotosinteze i asimilaciji CO_2 , sintezi klorofila i asimilaciji nitrata, u stvaranju riboflavina, askorbinske kiseline i karotena, aktivira enzime koji sudjeluju u sintezi masti i dr. U ljudskom organizmu mangan ima važnu ulogu u pravilnom oblikovanju i održavanju kostiju, hrskavice i vezivnog tkiva, pomaže u zgrušavanju krvi te stvaranju energije iz hrane jer povezuje ATP ili ADP s enzimima. U nekim metaboličkim procesima uloga Mn može biti zamjenjena magnezijem i obrnuto.

Po rasprostanjenosti u litosferi mangan se nalazi na desetom mjestu, a u tlu se javlja kao zamjenjivi Mn, organski Mn te u obliku oksida i hidroksida pri čemu je najvažnija frakcija Mn^{2+} i MnO. Ukupna količina Mn može značajno varirati između tipova tala i kreće se od 20 do $3000 \mu\text{g g}^{-1}$ tla (Gambrell, 1996.), a njegova dostupnost značajno ovisi o pH reakciji, sadržaju organske tvari, vlazi i prozračnosti tla. S obzirom da razina Mn^{2+} u tlu ovisi o oksidacijsko-redukcijskim procesima i pH, svi čimbenici koji dovode do ovih procesa utječu na pristupačnost Mn.

U neutralnoj i lužnatoj sredini pristupačnost Mn je smanjena zbog nastajanja teško topivog hidroksida, dok raspoloživost Mn raste smanjenjem pH tla i njegove redukcije do Mn^{2+} koji biljke lako usvajaju (Vukadinović i Lončarić, 1998.). Prema istim autorima koncentracija Mn u biljkama varira od 50 do 250 ppm dok zrna pšenice sadrži prosječno oko 34 ppm, ječma 17 ppm, a kukuruza samo 6 ppm. Najviše mangana sadrže mlađi organi i tkiva u kojima su i metabolički procesi intenzivniji, a pokretljivost u floemu je osrednja do slaba (Kastori i Maksimović, 2008.).

Bergmann (1992.) ističe kako koncentracija Mn u biljkama varira između biljnih vrsta i lokacije više nego bilo koji drugi element zbog povezanosti pH tla i pristupačnosti Mn. Stabljika biljke uzgajana na neutralnom do lužnatom tlu (pH 6,9 do 8,0) sadržavala je od 6 do 185 ppm Mn dok je ista biljna vrsta uzgajana na kiselom tlu (pH 4,5 do 5,5) imala nekoliko puta više vrijednosti (70 do čak 1200 ppm). Foy (1973.) navodi kako su se vrijednosti Mn u vršnim djelovima nekih biljnih vrsta uzgajanih u hranjivoj otopini kretale

od 242 ppm (rajčica), 741 ppm (zob) do 1521 ppm (suncokret). Rastija (2006.) utvrđuje kako koncentracija Mn u listu inbred linija kukuruza značajno ovisi o svojstvima tla te prikazuje prosječne vrijednosti od $19,6 \text{ mg kg}^{-1}$ za slabo kiselo tlo do 185 mg kg^{-1} za lokaciju s izrazito kiselim tlom. Na slabo kiselom tlu pH_{KCl} vrijednosti 6,2, Glowacka (2013.) je tijekom trogodišnjeg istraživanja utvrdila koncentraciju Mn u biljci kukuruza od $30,7 \text{ mg kg}^{-1}$ do $39,1 \text{ mg kg}^{-1}$.

Istraživanje Rastije i sur. (2010.) pokazuje kako na usvajanje Mn u list kukuruza bitno utječu i vremenske prilike. Na temelju dvogodišnjeg istraživanja u poljskim uvjetima autori navode kako je koncentracija Mn u listu kukuruza na kiselom tlu u sušnoj godini iznosila 216 mg kg^{-1} , a na istom tlu u normalnoj godini 152 mg kg^{-1} Mn.

Kritična razina nedostatka Mn za većinu biljnih vrsta se kreće od 10 do $20 \mu\text{g g}^{-1}$ u suhoj tvari lista dok suvišak Mn nije usko ograničen i varira od $200 \mu\text{g g}^{-1}$ kod kukuruza do $5300 \mu\text{g g}^{-1}$ kod suncokreta (Mengel i sur., 2001.). Toksičnost se javlja uglavnom na kiselim do vrlo kiselim tlama ($\text{pH} < 5,5$) na kojima dominira velika koncentracija Mn^{2+} naročito ako je malo organske tvari, a tlo zbijeno i zasićeno vodom. U tom slučaju toksičnost Mn je povezana s toksičnošću Fe i Al.

Općenito, koncentracije Mn u zrnu kukuruza su puno manje u usporedbi s koncentracijom u listu i kreću se od 1,0 do $5,3 \text{ mg kg}^{-1}$ (Heckman i sur., 2003.), od 4,7 do 15 mg kg^{-1} (Brkić i sur., 2004.) i od 5 do 13 mg kg^{-1} (Fereirra i sur., 2012.).

Cink (Zn) je vrlo važan mikroelement jer ulazi u sastav mnogih enzima (dehidrogenaza, karboanhidraza, alkoholdehidrogenaza i dr.). Aktivira enzime u sintezi proteina i uključen je u regulaciju i potrošnju šećera. Potreban je za formiranje ugljikohidrata odnosno škroba i klorofila. Sintetizira hormon rasta auksin, potreban je za pravilan rast korijena i važan je u metabolizmu proteina i biosintezi DNA i RNA. Prisutnost odgovarajuće količine Zn u tkivu omogućuje biljci povećanu otpornost prema bolestima, na niske temperature i sušu. Također, cink utječe na usvajanje i transport fosfora.

Uloga u ljudskom organizmu je nezamjenjiva i gotovo da ne postoji proces ili struktura u tijelu koja nije direktno ili indirektno pod utjecajem Zn. Ovisno o klasifikaciji, preko 200

enzima treba Zn za normalno funkcioniranje koji utječu na sintezu DNA i RNA, metabolizam proteina i alkohola, ravnotežu kiselina i baza u tijelu te cink ima imunološku ulogu i utječe na rast i razvoj ljudi (King i Cousins, 2006.). Također, stabilizira strukturu proteina stanične membrane i nekih hormona. Općenito, hrana koja obiluje proteinima je bogata i cinkom. Nedostatak Zn utječe na trećinu ljudske populacije (Hotz i Brown, 2004.) pri čemu su djeca najugroženija skupina. Procijenjeno je kako svake godine 450 000 djece mlađe od 5 godina umre zbog nedostatka Zn (Black i sur., 2008.).

Većina Zn u tlu se nalazi u nepristupačnim oblicima za biljku i njegova razina je povezana s materijalom od kojeg je tlo nastalo. Magmatske stijene imaju više Zn dok tla nastala od silikatnih materijala imaju niže vrijednosti. Prosječne vrijednosti u nekontaminiranom tlu se kreću od 17 do 160 $\mu\text{g g}^{-1}$ tla (Reed i Martens, 1996.). U otopini tla Zn se nalazi u ionskom ili složenom obliku, a biljke ga usvajaju kao Zn^{2+} , $\text{Zn}(\text{OH})^+$, ZnCl^+ i u obliku kelata, ali u biljci je uvijek Zn^{2+} . S obzirom da je vezan na čestice tla i organsku tvar u obliku kelata, slabo je pokretan i ne ispire se. Pristupačnost Zn u tlu ovisi o teksturi tla, pH reakciji, koncentraciji fosfora u tlu i vremenskim prilikama. Na usvajanje Zn antagonistički djeluju Fe, Cu i Mn, a u prisustvu veće koncentracije fosfata Zn prelazi u nepristupačne oblike za biljku.

Kiselost tla (pH) utječe na raspoloživost cinka više nego bilo koji drugi čimbenik pri čemu povećanjem pH vrijednosti dolazi do smanjivanja pristupačnosti Zn. S tim u vezi obično se nedostatak javlja pri pH tla iznad 6,5 (Schulte, 2004.). Autor također navodi kako kukuruz ima velike potrebe za cinkom dok neke druge ratarske kulture zahtijevaju umjerenu opskrbu ovim elementom. Zhang i sur. (2014.) ističu kako povećanje količine organskog ugljika i električne provodljivosti tla povećava pristupačnost Zn i Cu ekstrahiranih DTPA otopinom. Na temelju dugogodišnjeg pokusa utjecaja organskih i mineralanih gnojiva Rutkowska i sur. (2014.) zaključuju kako se koncentracija Zn, B i Fe u otopini tla značajno povećava primjenom organskog gnojiva dok kalcizacija značajno smanjuje koncentraciju Zn i Mn. To potvrđuje istraživanje Xu i sur. (2013.) koji navode kako je dugogodišnja primjena svinjskog gnoja rezultirala povećanjem koncentracije Zn za 107 % i Cu za 204 % u tlu pri najvećem tretmanu, ali su koncentracije ispod granice toksičnosti za biljke.

U istraživanjima Lončarića i sur. (2011.) ukupne koncentracije Zn u tlu su bile veće na karbonatnim (111 mg kg^{-1}) nego na kiselim tlima (78 mg kg^{-1}), ali je raspoloživost Zn za biljku bila veća na kiselim tlima ($1,63 \text{ mg kg}^{-1}$) nego na karbonatnim ($1,09 \text{ mg kg}^{-1}$) što ukazuje na ulogu reakcije tla na pristupačnost Zn. Osim pH tla, bitan je sadržaj fosfora u tlu jer veće količine fosfora dovode do smanjenog usvajanja Zn. Ta pojava je posebno značajna za kukuruz kod kojeg fosfor često inducira deficit cinka uz akumulaciju većih količina željeza (Vukadinović i Lončarić, 1998.). Kovačević i sur. (2004b.) navode kako su hibridi kukuruza s višim P:Zn odnosom manje pogodni za uzgoj na tlima bogatim fosforom ili s umjerenim sadržajem pristupačnog Zn.

Biljne vrste jako variraju u pogledu usvajanja Zn. Pod istim uvjetima kukuruz usvoji 60 %, a rajčica samo 30 % dostupnog Zn (Bergmann, 1992.). Prema istom autoru vrijednosti od 20 do 100 ppm u suhoj tvari su normalne, a manje od 20 ppm kritične. Isto potvrđuju i drugi autori koji su u svom istraživanju utvrdili vrijednosti unutar ovih granica (Gumze i sur., 2008.; Rastija, 2006., Lončarić i sur., 2005.). Mengel i sur. (2001.) navode sljedeće granične koncentracije Zn u listovima kukuruza: 0 - 10 nedostatak, 11 - 20 niska koncentracija, 21 - 70 dovoljna i 71 - 150 visoka koncentracija. Šimić i sur. (2009.) navode koncentracije Zn u zrnu od 19 do 24 mg kg^{-1} , Yazdani i Pirdashti (2011.) od 28 do 36 mg kg^{-1} , Sipos i sur. (2007.) od 14 do 23 mg kg^{-1} , Rastija i sur. (2009.) od 14 do 26 mg kg^{-1} i Xu i sur. (2013.) od 21 do 26 mg kg^{-1} .

Na oko 50 % obradivih površina u svijetu na kojima se uzgajaju žitarice postoji problem s nedostatkom Zn (Graham i Welch, 1996.). Žitarice predstavljaju glavni izvor kalorija u zemljama u razvoju i čine 50 % dnevno unesenih kalorija dok u ruralnim sredinama to doseže i do 70 %. S obzirom da žitarice imaju nisku koncentraciju Zn, njihov uzgoj na tlima s manjim sadržajem Zn ima za posljedicu vrlo malen unos cinka u ljudski organizam (www.harvestzinc.org).

Na temelju više istraživanja, prosječna koncentracija Zn u zrnu pšenice varira od 20 do 35 mg kg^{-1} što nije dovoljno za ljudsku ishranu (Cakmak i sur., 2004.; Rengel i sur., 1999.). Germ i sur. (2013.) navode da dodavanje Zn u tlo nije statistički značajno utjecalo na prinos zrna, ali je značajno povećalo koncentraciju Zn u zrnu. Autori zaključuju kako povećanje koncentracije Zn u zrnu pšenice kao jedne od osnovnih prehrambenih namirnica rezultira

poboljšanjem ljudskog zdravlja naročito u manje razvijenim zemljama svijeta. U slučaju uzgoja pšenice na tlima s nedostatkom Zn koncentracije u zrnu su mnogo niže i kreću se od 5 do 15 mg kg⁻¹ (Cakmak i sur., 2010.; Erdal i sur., 2002.). Nedostatak Zn je globalni problem poljoprivrednih tala i ljudske populacije koja zahtjeva blisku suradnju agronoma, oplemenjivača, nutricionista, proizvođača i industrije gnojiva.

Bakar (Cu) je bitan element u nekoliko enzimskih sustava uključenih u izgradnju i pretvaranje aminokiselina u proteine, sudjeluje kao katalizator u fotosintezi i respiraciji, važan je za metabolizam ugljikohidrata i proteina te stvaranje lignina što doprinosi većoj čvrstoći biljke. Bakar je neophodan za ljudsko zdravlje i prisutan je u mnogim enzima (Turnland, 2006.). Dnevne potrebe za Cu kod odraslih osoba se kreću oko 2 mg.

Prema McLaren i Crawford (1973.) sadržaj bakra u tlu varira od 5 do 50 mg kg⁻¹ tla dok Schulte i Kelling (2004.) navode vrijednosti od 2 do 100 ppm s prosječnim sadržajem oko 30 ppm, od čega se većina nalazi u nepristupačnom mineralnom obliku. Pristupačan Cu u tlu se nalazi uglavnom kao kation Cu²⁺ na površini minerala gline ili povezan s organskom tvari. Specifično je adsorbiran na karbonate, organsku tvar tla, filosilikate i hidro okside Al, Fe i Mn gdje je slabo pristupačan (Reed i Martens, 1996.).

Iako većina tala sadrži relativno male količine Cu, fiksacija u tlu je minimalna i zbog toga su problemi vezani za nedostatak Cu u kukuruza vrlo rijetki. Organska tvar i pH tla su čimbenici koji najviše utječu na pristupačnost bakra pri čemu povećanje organske tvari ili pH tla ima za posljedicu smanjenu pristupačnost bakra. Biljka ga usvaja u obliku Cu²⁺ ili kelata kroz korijen manje u usporedbi s usvajanjem Fe, Mn i Zn. Najveće potrebe za bakrom biljke imaju u ranim fazama razvoja koje su kod žitarica od faze busanja do kraja vlatanja nakon čega koncentracija Cu opada.

U usporedbi s Fe, Mn i Zn biljka treba Cu u manjim količinama te koncentracija u biljkama obično iznosi 5 - 15 mg kg⁻¹ (Bergmann, 1992.). Glowacka (2013.) navodi kako je koncentracija Cu u biljci kukuruza varirala od 2,9 mg kg⁻¹ do 8,8 mg kg⁻¹ ovisno o godini istraživanja. Aref (2012.) navodi koncentracije u listu kukuruza od 6 do 7 mg kg⁻¹, a Gumze (2012.) od 8 do 14 mg kg⁻¹. U zrnu kukuruza su koncentracije Cu niže i u literaturi se mogu

pronaći sljedeće vrijednosti: 2,5 - 3,5 mg kg⁻¹ (Ashwood, 2007.), 0,5 - 3,4 mg kg⁻¹ (Brkić i sur., 2004.), 0,7 - 9,6 mg kg⁻¹ (Fereirra i sur., 2012.) i 1,75 – 2,99 mg kg⁻¹ (Xu i sur., 2013.).

Neprijeporno, mikroelementi poput Fe, Mn, Zn i Cu imaju važnu ulogu u fiziologiji živih organizama. Međutim, uloga genetike i oplemenjivanja u njihovom usvajanju, translokaciji i akumulaciji je vrlo velika. Velu i sur. (2011.) navode kako je nedostatak Fe i Zn u hrani vodeći problem za zdravlje ljudske populacije koji utječe na gotovo dvije milijarde ljudi širom svijeta te kako povećanje sadržaja tih mikroelemenata u osnovnoj hrani kao što su žitarice putem oplemenjivanja, dugoročno nudi ekonomično i održivo rješenje smanjenja pothranjenosti u siromašnim populacijama.

Već je od prije poznato da usvajanje elemenata nije isto između biljnih vrsta odnosno unutar iste vrste. Queiroz i sur. (2011.) su na temelju istraživanja 22 inbred linije kukuruza ustanovili statistički značajne razlike između linija. Koncentracija Zn u zrnu se kretala od 18 do 42 mg kg⁻¹, a Fe od 12 do 37 mg kg⁻¹. Tri linije su bolje usvajale Zn, a četiri linije Fe. Brkić i sur. (2003.) su analizirali genetsku varijabilnost sadržaja šest elemenata u zrnu 28 dialelnih križanaca kukuruza podrijetlom iz umjerenog pojasa. Utvrđen je veliki raspon variranja u sadržaju svih elemenata između istraživanih genotipova koji je varirao od 13,6 do 30,3 mg kg⁻¹ za Fe, 16,0 – 23,6 mg kg⁻¹ za Zn, 1,82 – 4,66 mg kg⁻¹ za B, 0,57 – 3,00 mg kg⁻¹ za Cu, 1019 - 1466 mg kg⁻¹ za Mg i 6,38 – 11,01 mg kg⁻¹ za Mn. Autori zaključuju kako aditivni geni imaju najveći učinak u nasljeđivanju elemenata te da se konvencionalnim oplemenjivanjem može povećati sadržaj pojedinih mineralnih tvari u zrnu. Šimić i sur. (2004.) su nakon provedene dialelne analize F1 generacije utvrdili jednostavan način nasljeđivanja Fe, Zn, Mn i Cu u zrnu kukuruza. Sorić i sur. (2011.) navode kako je akumulacija Cu, Fe, K, Mg, Mn i Sr kontrolirana s nekoliko gena. Autori su identificirali QTL-ove za akumulaciju Cu, Fe i Mg na 5. kromosomu u regiji gdje se nalazi gen *ys1* (yellow stripe 1) koji je između ostalog uključen u međustanični transport mikroelemenata poput Zn i Cu.

Na temelju poljskih istraživanja 20 hibrida tijekom dvije godine koncentracije u listu kukuruza u istraživanju Kovačević i sur. (2004b.) su varirale od 16,3 do 30,0 mg kg⁻¹ za Zn, od 28,5 do 62,2 mg kg⁻¹ za Mn i od 137 do 222 mg kg⁻¹ za Fe. Autori navode da vrlo visoki

koeficijent korelacije sadržaja elemenata između godina ukazuju na visoku ponovljivost rezultata unutar genotipa i značaj nasljeđivanja za status hraniva u biljci.

Brkić i sur. (2004.) su također utvrdili značajno variranje koncentracije B, Cu, Fe, Mn, Ni i Zn između 121 genotipova kukuruza kao i interakciju genotip x okolina. Na temelju visoke ponovljivosti, procjene heritabilnosti i parametara stabilnosti najpouzdanije je povećanje mangana i cinka. Autori također smatraju kako je moguće povećanje prinosa i koncentracije nekih elemenata istodobno jer nisu utvrdili nikakvu negativnu povezanost.

Vragolović i sur. (2007.) su ustanovili da u sustavu tlo-biljka postoji slaba veza između mikroelemenata u tlu, listu i zrnu kukuruza. Indiciraju kako koncentracije Fe i Zn u tlu i listovima kukuruza možda ne utječu na njihovu koncentraciju u zrnu, odnosno da genetska kontrola akumulacije u zrno nije povezana s koncentracijom Fe i Zn u listovima.

Ortiz-Monastero i sur. (2007.) su analizirali više od 1000 CIMMYT-ovih i 400 lokalnih genotipova kukuruza iz različitih okolina. Općenito, utvrdili su malo variranje koncentracije Fe u zrnu ($11 - 39 \mu\text{g g}^{-1}$) i umjereno variranje Zn ($15 - 45 \mu\text{g g}^{-1}$). Autori navode kako CIMMYT ne provodi program oplemenjivanja na povećanje Fe i Zn u zrnu što se odrazilo i na slabo variranje.

Pored povećanja prinosa kao jedne od glavnih zadaća oplemenjivačkih programa, značajna je i selekcija genotipova koji će efikasnije primati mikroelemente iz tla odnosno akumulirati ih u zrno. Samo takvi genotipovi predstavljaju koristan oplemenjivački materijal za stvaranje hibrida koji će pokazati tolerantnost na stresne uvijete. House (1999.) navodi kako je koncentracija mikroelemenata u zrnu složeno svojstvo na koje utječu genotip, svojstva tla, okolinski uvjeti i interakcija hraniva.

Rastija (2006.) utvrđuje da su na koncentracije Mn i Zn u listu i zrnu općenito najveći utjecaj imale okoline, prvenstveno tip i svojstva tla, te su dobivene razlike u koncentracijama elemenata između genotipova na dva lokaliteta bile odraz različite raspoloživosti elemenata u tlu. Nadalje, rezultati istraživanja ukazali su na složenost odnosa između koncentracije elemenata u listu i zrnu kod roditelja i njihovog potomstva te da genetsko podrijetlo inbred linija ima bitnu ulogu u nasljeđivanju sadržaja elemenata, ali i to da je njihov genetski utjecaj pod značajnim utjecajem okolinskih čimbenika.

Neki autori smatraju kako prinos također može imati negativan utjecaj na koncentraciju elemenata u zrnu. Na temelju trogodišnjeg istraživanja Feil i sur. (2005.) u poljskim pokusima s četiri genotipa kukuruza, tri razine gnojidbe dušikom i u uvjetima suše i navodnjavanja navode kako je koncentracija elemenata u zrnu bila prilično stabilna. Najprinosniji hibrid je imao najnižu koncentraciju pojedinih elemenata u zrnu pa autori smatraju kako postoje indicije da oplemenjivanje na visoki prinos smanjuje sadržaj minerala u zrnu.

Lončarić i sur. (2011.) su utvrdili kako je sorta pšenice s najvećim prinosom ($7,6 \text{ t ha}^{-1}$) imala najmanju koncentraciju Fe ($31,3 \text{ mg kg}^{-1}$), Zn ($14,9 \text{ mg kg}^{-1}$) i Cu ($2,2 \text{ mg kg}^{-1}$) u zrnu dok je sorta s najmanjim prinosom imala najveću koncentraciju Fe ($59,6 \text{ mg kg}^{-1}$), Mn ($50,9 \text{ mg kg}^{-1}$), Zn ($22,9 \text{ mg kg}^{-1}$) i Cu ($4,1 \text{ mg kg}^{-1}$). Autori to objašnjavaju posljedicom učinka razrijeđenja zrna, odnosno smanjivanjem koncentracije mikroelemenata u zrnu zbog visokog prinosa i količine ugljikohidrata u zrnu. Hejzman i sur. (2013.) navode kako je u proteklih 50-tak godina koncentracija Fe, Zn i Cu u zrnu žitarica smanjena zbog stvaranja visokoprinosnih sorti i hibrida.

Pregledom opširne literature može se uočiti kretanje istraživanja u dva pravca. Jedni autori navode kako je stresne uvijete u tlu (kiselost, toksičnost Al, Mn, zaslanjenost i slično) moguće riješiti određenim agrotehničim i/ili melioracijskim mjerama poput kalcizacije, fosfatizacije, ciljane gnojidbe i slično. Drugi predlažu kako se razlike u osjetljivosti odnosno tolerantnosti genotipova na specifične uvjete tla mogu iskoristiti za bolju adaptaciju biljaka nego da se tlo neprestano prilagođava biljci.

1. 2. Cilj istraživanja

Cilj ovoga istraživanja bio je utvrditi genetsku specifičnost hibrida kukuruza u pogledu koncentracije mikroelemenata (Fe, Mn, Zn i Cu) u listu i zrnu te utvrditi utjecaj agroekoloških uvjeta, svojstava tla i vremenskih prilika, na prinos zrna kukuruza i koncentracije mikroelemenata u listu i zrnu.

Istraživanje se temeljilo na sljedećim hipotezama:

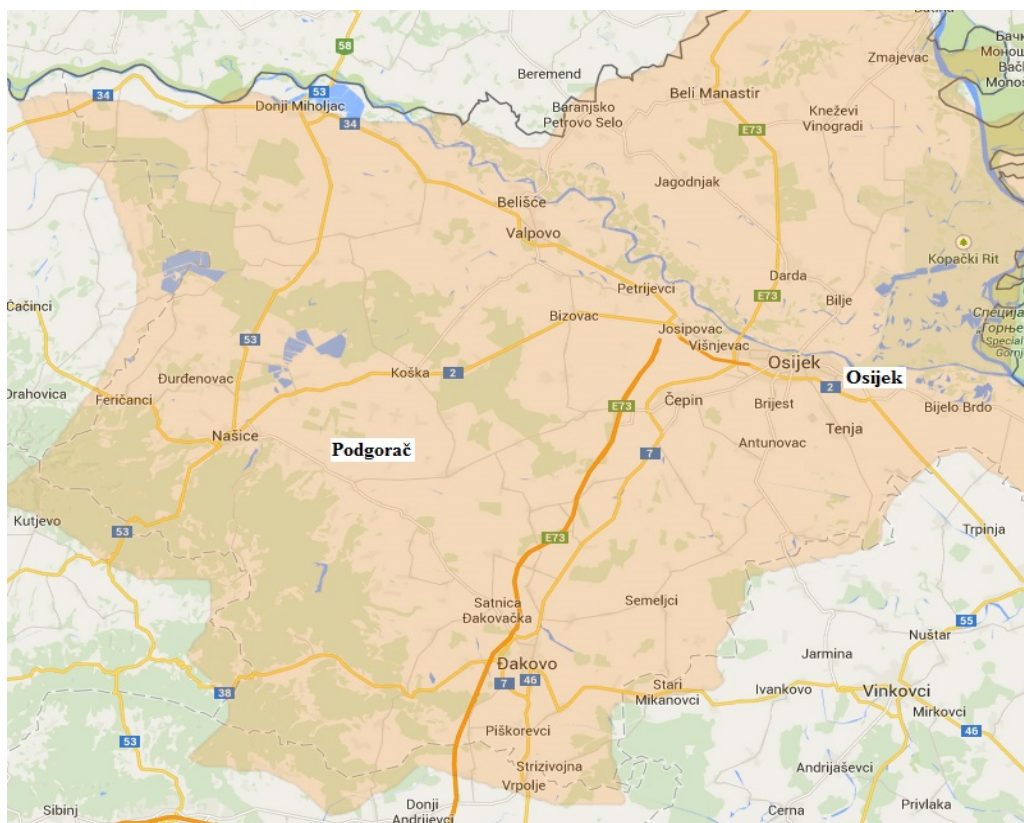
- Usvajanje mineralnih elemenata i njihova translokacija i akumulacija u biljci ovisi o genotipu i ekološkim činiteljima.
- Hibridi kukuruza pokazuju genetsku varijabilnost u koncentracijama mikroelemenata.
- Tip tla, odnosno njegova kemijska i fizikalna svojstva utječu na koncentracije mikroelemenata u listu i zrnu kukuruza.
- Vremenske prilike (količina oborina i temperatura) imaju značajan utjecaj na visinu prinosa.

2. MATERIJAL I METODE RADA

Istraživanje je provedeno poljskim tročimbeničnim pokusom tijekom dvije godine na dvije lokacije i s 10 hibrida kukuruza. Istraživanje se sastojalo od terenskog rada, kemijskih analiza tla i biljnog materijala u laboratoriju te statističke obrade podataka.

2. 1. Opis pokusa

Istraživanje je provedeno u poljskim uvjetima tijekom 2010. i 2011. godine u istočnoj Hrvatskoj na području Osječko-baranjske županije (Slika 1.). Poljski pokusi su postavljeni u Osijeku ($45^{\circ} 32' 16,26''$ N i $18^{\circ} 44' 45,60''$ E) na površinama Poljoprivrednog instituta Osijek i Podgoraču ($45^{\circ} 29' 04,75''$ N i $18^{\circ} 14' 08,50''$ E) na proizvodnim površinama tvrtke Anagalis d.o.o. koja je u vlasništvu tvrtke Papuk d.d. Našice. Lokacije su međusobno udaljene oko 40 km zračne linije. Pokus u Podgoraču je bio na istoj površini u obje godine istraživanja dok je u Osijeku 2011. pomjeren za otprilike 300 m u odnosu na 2010. godinu.



Slika 1. Lokacije pokusa (www.google.hr/maps/)

U istraživanju je korišteno 10 komercijalnih hibrida Poljoprivrednog instituta Osijek različitog vremena dozrijevanja odnosno različitih FAO grupa (Tablica 1.).

Tablica 1. Popis hibrida u istraživanju

Oznaka hibrida u pokusu	Komercijalni naziv hibrida	FAO grupa
H1	DRAVA 404	420
H2	OS 430	440
H3	OSSK 444	450
H4	OS 499	490
H5	OSSK 515	520
H6	OS 5717	520
H7	OSSK 552	580
H8	OSSK 596	590
H9	OSSK 602	620
H10	OSSK 617	610

Pokus je postavljen prema slučajnom bloknom rasporedu u četiri ponavljanja. Ukupna površina pokusa iznosila je 560 m², odnosno svakog ponavljanja 140 m². Osnovna parcela svakog hibrida je iznosila 14,0 m², a sastojala se od dva reda dužine 10,0 m s razmakom u redu 20 cm za hibride od H1 do H7 (planirani sklop 71 428 biljaka po hektaru) i 22 cm za hibride od H8 do H10 (planirani sklop 64 935 biljaka po hektaru). Ponavljanja su bila odvojena stazom od 1 m, a oko cijelog pokusa je bio posijan zaštitni pojas kako bi se izbjegao eventualni učinak rubnih biljaka i smanjio mogući negativni utjecaj vjetra.

Na obje lokacije je provedena uobičajena agrotehnika za kukuruz. U jesen je obavljena osnovna obrada na 25 - 30 cm dubine, a u proljeće zatvorena zimska brazda i tlo pravilno pripremljeno za sjetvu. Pokusi su posijani u približno isto vrijeme na obje lokacije. U Podgoraču je sjetva pokusa obavljena 6. svibnja 2010. i 3. svibnja 2011. godine. Na Poljoprivrednom institutu Osijek je sjetva obavljena 4. svibnja 2010. godine i 29. travnja 2011. godine. Neposredno nakon sjetve, a prije nicanja kukuruza pokusi su tretirani herbicidima širokog spektra djelovanja protiv uskolisnih i širokolisnih korova.

Na pokusnim površinama u obje godine je primijenjena približno ista količina dušika, dok je gnojidba fosforom i kalijem bila nešto naglašenija na lokalitetu Osijek (Tablica 2.).

Tablica 2. Količina hraniva (kg ha^{-1}) dodanih gnojidbom

Primjena gnojiva	Osijek			Podgorač		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	2010./2011. N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Osnovna gnojidba	63,5	50	75	-	50	75
Predsjetvena gnojidba	63,5	50	75	92	-	-
Startna gnojidba	-	-	-	30	30	30
I prihrana	27	-	-	54	-	-
II prihrana	27	-	-	-	-	-
Ukupno	181	100	150	176	80	105

Berba kukuruza je obavljena ručno u vrijeme gospodarske zriobe tako da su sa svake parcelice obrana dva reda svakog hibrida, a masa klipa i zrna određena digitalnom električnom vagom (Kern CH 25 K50 i Kern MH 10 K10, Njemačka). U Podgoraču je berba obavljena 12. listopada 2010. i 20. rujna 2011., odnosno u Osijeku 25. listopada 2010. i 12. listopada 2011. godine. Tijekom berbe određen je broj biljaka za utvrđivanje realizacije sklopa i broj klipova po parceli. Nakon toga uzeti su prosječni uzorci od 10 klipova kukuruza sa svake parcele za određivanje vlažnosti zrna, udjela oklaska (randmana) i daljne kemijske analize. Vлага zrna u berbi je mjerena digitalnim vlagomjerom (Wile 55, Farmcomp Agroelectronics, Finska). Prinos zrna po hektaru je izračunat na osnovi mase klipa po parcelici, udjela oklaska i sadržaja vode u zrnu te izražen na bazi realiziranog sklopa u t ha^{-1} s 14 % vode.

2. 2. Karakteristike hibrida u istraživanju

U istraživanju je korišteno 10 komercijalnih dvolinijskih hibrida kukuruza u tipu zubana kreiranih na Poljoprivrednom institutu Osijek.

Hibrid Drava 404 pripada FAO skupini 420 i predstavlja najraniji hibrid u ovom istraživanju. Koristi se u svim segmentima proizvodnje odnosno za proizvodnju suhog zrna, proizvodnju silaže zrna, silaže cijele biljke i za berbu u klipu (Slika 2.). Odlikuje ga brzi rani porast, čvrsta stabljika otporna na polijeganje i izrazita tolerantnost na najzastupljenije bolesti i štetnike.



Slika 2. Hibrid Drava 404

Hibrid OS 430 pripada FAO skupini 440 i osnovna mu je namjena proizvodnja suhog zrna (Slika 3.). Stabljika je srednje visine, izrazito čvrsta i otporna na polijeganje, a klip sa 16 do 18 redi zrna u tipu žutog zubana. Ovaj hibrid je pokazao veliku prilagodljivost različitim tipovima tala pa se može sijati i na manje plodnim tlima. Izrazite je tolerantnosti na mnoge bolesti i štetnike, a posebno na kukuruznog moljca.



Slika 3. Hibrid OS 430

Hibrid OSSK 444 pripada FAO skupini 450 i uzgaja se za berbu i čuvanje u klipu pa je prisutan na manjim poljoprivrednim gospodarstvima (Slika 4.). Stabljika je srednje krupna s izraženim zračnim korijenjem, a klip krupan, cilindričan s izrazito krupnim zrnom crvenkaste boje. Hibrid se uspješno uzgaja na težim, siromašnijim i tlima niže pH vrijednosti, a u tradicionalnoj proizvodnji s prosječnim ulaganjem daje stabilne rezultate.



Slika 4. Hibrid OSSK 444

Hibrid OS 499 se nalazi na kraju FAO skupine 400 odnosno 490. Zbog izraženog potencijala rodности i kvalitete zrna pogodan je za proizvodnju silaže zrna ili za berbu u klipu (Slika 5.). Ima odličnu prilagodljivost različitim agroklimatskim uvjetima proizvodnje, a posebno je tolerantan na nedostatak vode jer ima duboko i jako korijenje. Također ga odlikuje i nešto sporije otpuštanje vode iz zrna.



Slika 5. Hibrid OS 499

Hibrid OSSK 515 pripada FAO skupini 520 i koristi se za sve namjene proizvodnje (Slika 6.). U istočnim krajevima Hrvatske je idealan za proizvodnju suhog zrna, a u ostalim dijelovima za branje u klipovima ili za silažu biljke ili zrna jer je stabljika nešto višeg rasta i povećane lisne mase. Odlikuje ga svojstvo vrlo brzog gubitka vode iz zrna u vrijeme zriobe.



Slika 6. Hibrid OSSK 515

Hibrid OS 5717 pripada istoj FAO skupini kao i prethodni hibrid (Slika 7.). Karakterizira ga izrazito čvrsta stabljika koja do kraja vegetacije zadržava zelenu boju. Klip je izrazito krupan, a zrno u tipu zubana visoke hranidbene vrijednosti. Također, adaptabilan je na različite agroekološke uvjete proizvodnje.



Slika 7. Hibrid OS 5717

Hibrid OSSK 552 se nalazi u FAO skupini 580 i univerzalne je namjene (Slika 8.). Na području istočne Hrvatske se koristi i za proizvodnju suhog zrna. Stabljika je čvrsta i srednje visine, a klipovi su srednje krupnoće te pravilnog cilindričnog oblika sa zrnom zlatno žute boje i glatke krunice. Jedan je od najtolerantnijih hibrida na sušu u Republici Hrvatskoj i općenito je pogodan za različite uvjete proizvodnje.



Slika 8. Hibrid OSSK 552

Hibrid OSSK 596 se nalazi u FAO skupini 590 (Slika 9.). Uzgaja se zbog berbe u klipovima te zbog silaže zrna ili cijele biljke. Karakterizira ga visoka i krupna biljka sa svojstvom produženog zelenog stanja. Klip je izrazito krupan, cilindričan i pravilan sa 14 do 16 redi zrna sa crvenkastom osnovom na vrhu. Posjeduje povećanu tolerantnost na bolesti i štetnike, a osobito na kukuruznu zlaticu.



Slika 9. Hibrid OSSK 596

Hibrid OSSK 602 se nalazi u najkasnijoj FAO skupini (620) ispitivanih hibrida u istraživanju (Slika 10.). Koristi se za branje u klipovima ili silažu vlažnog zrna i/ili cijele biljke jer ima odličan omjer zrna i biljne mase. Odlikuje ga visoka i čvrsta stabljika sa velikim brojem listova. Klip je vrlo krupan i izdužen sa 18 do 20 redi zrna hrapave krunice u tipu žutog zubana. Također posjeduje pojačanu toleranciju na kukuruznog moljca i kukuruznu zlaticu.



Slika 10. Hibrid OSSK 602

Hibrid OSSK 617 se nalazi u FAO grupi 610 (Slika 11.). Koristi se za sve namjene, ali prvenstveno za proizvodnju silaže vlažnog zrna i/ili cijele biljke. U istočnim dijelovima Hrvatske proizvodi se za berbu u klipu i proizvodnju suhog zrna. Razvija čvrstu stabljiku višeg rasta i krupnije listove koji duže zadržavaju zelenu boju. Klip je srednje krupan u tipu pravog zubana sa 16 do 18 redi zrna. Podnosi guste sklopove s obzirom na pripadajuću FAO grupu i posjeduje brzo otpuštanje vode iz zrna.



Slika 11. Hibrid OSSK 617

2. 3. Uzimanje i priprema uzoraka

Tijekom istraživanja uzeti su uzorci tla i biljnog materijala za kemijske analize po uobičajenim metodama u Hrvatskoj.

U svakoj godini istraživanja za svaku lokaciju je ukupno prikupljeno 30 uzoraka lista i 30 uzoraka zrna s tri ponavljanja što za dvije godine istraživanja predstavlja sveukupno 240 uzoraka biljnog materijala (lista i zrna).

2. 3. 1. Uzimanje i priprema uzoraka tla

Preliminarnim analizama utvrđeno je stanje tla u pogledu kemijskih svojstava te su za potrebe istraživanja uzorci tla uzeti nakon berbe kukuruza u obje godine istraživanja. Uzorkovanje tla je obavljeno pedološkom sondom 29. listopada 2010. godine i 3. studenoga 2011. godine do dubine 30 cm (Slika 12 a i b.). Na svakoj lokaciji sa svakog ponavljanja je uzet po jedan prosječan uzorak mase oko 1 kg koji se sastojao od 20 pojedinačnih uzoraka. Nakon dopremanja u laboratorij, uzorci tla su očišćeni od organskih ostataka i ostalih primjesa te osušeni u tankom sloju na sobnoj temperaturi. Zrakosuhi uzorci tla su zatim usitnjeni posebnim mlinom za tlo, prosijani kroz sito promjera 2 mm i homogenizirani, nakon čega su pripremljeni za analizu sukladno standardnom propisanom postupku (ISO 11464, 1994a).



Slika 12 a i b. Uzimanje uzoraka tla nakon berbe kukuruza

Na kraju druge vegetacijske sezone kukuruza (2011.) na obje lokacije otvoreni su pedološki profili u svrhu determinacije tipa tla kao i ektomorfoloških i endomorfoloških svojstava. Uzeti su uzorci po horizontima do dubine matičnog supstrata, a Kopecki cilindrima uzeti su uzorci tla u nenarušenom stanju.

2. 3. 2. Uzimanje i priprema uzoraka biljnog materijala

Tijekom svake vegetacijske sezone u početnoj fazi svilanja slučajnim odabirom je uzeto 20 listova kukuruza ispod klipa po parceli za elementarnu kemijsku analizu. S obzirom da su u istraživanju korišteni hibridi kukuruza različitih FAO skupina uzorci lista su uzimani u različito vrijeme ovisno o trenutku početka svilanja. U prvoj godini istraživanja uzorci lista na obje lokacije su ubirani u razdoblju od 24. srpnja do 4. kolovoza 2010., a u drugoj od 20. srpnja do 1. kolovoza 2011. godine. Zrakosuhi uzorci dosušeni su u sušioniku na 70°C, a zatim samljeveni u mlinu za mljevenje biljnog materijala. Uzorci zrna za kemijske analize su uzeti iz prosječnog uzorka od 10 klipova sa svake osnovne parcelice te su dosušeni u sušioniku i samljeveni u istom mlinu.

2. 4. Kemijske analize tla

U svim prosječnim uzorcima tla s lokaliteta Osijek i Podgorač utvrđena su osnovna kemijska svojstva tla - pH reakcija tla, sadržaj humusa, koncentracija lakopristupačnog fosfora i kalija, hidrolitička kiselost i sadržaj CaCO_3 te koncentracije ukupnih i biljei pristupačnih mikroelemenata (Fe, Mn, Zn i Cu).

Trenutna ili aktualna kiselost ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) određena je elektrokemijskim mjerenjem u suspenziji tla s destiliranom vodom, a supstitucijska ili izmjenjiva kiselost (pH_{KCl}) u suspenziji tla s otopinom 1M KCl-a (ISO 10390, 1994b.). Hidrolitička kiselost, koja predstavlja ukupnu potencijalnu kiselost nekog tla, određena je Na-acetat ekstrakcijskom metodom po Kappenu, a sadržaj karbonata u tlu volumetrijskom metodom (ISO 10693, 1995.). Sadržaj humusa određen je bikromatnom metodom (ISO 14235, 1998.).

Sadržaj lakopristupačnog fosfora i kalija u tlu određen je AL metodom po Egnér, Riehm i Domingu (Egner i sur., 1960.) pri čemu se ekstrakcija obavlja puferom otopinom amonij-

laktata čiji je pH 3,75. Pristupačnost fosfora određuje se kolorimetrijski tzv. plavom metodom, a mjerenje je obavljeno na valnoj duljini 680 nm UV spektrofotometrom Cary 50. Pristupačnost kalija utvrđuje se direktno iz ekstrakta tla emisijskom tehnikom na atomskom apsorpcijskom spektrofotometru pri 766,5 nm. Rezultati AL metode su koncentracije biljkama pristupačnog fosfora i kalija u analiziranom uzorku tla, a izražavaju se u mg P₂O₅ 100 g tla⁻¹ i mg K₂O 100 g tla⁻¹. Prema rezultatima AL metode, tla se dijele u različite klase opskrbljenosti fosforom i kalijem.

Određivanje ukupne količine Fe, Mn, Zn i Cu u tlu obavljeno je ekstrakcijom uzoraka tla zlatotopkom (ISO 11466, 1995.), a koncentracije mikroelemenata izmjerene su direktno iz ekstrakata tla pomoću ICP-OES (optička emisijska spektrometrija induktivno spregnute plazme).

Pristupačne frakcije Fe, Mn, Zn i Cu u tlu određene su ekstrakcijskom metodom pomoću EDTA otopine pri pH 8,6 prema Trierweiler i Lindsayu (1969.), a koncentracije mikroelemenata izmjerene su na ICP-OES-u.

2. 5. Fizikalne analize tla

Na temelju pedoloških profila i prosječnih uzoraka tla određena su fizikalna svojstva tla. Mehanička analiza tla obavljena je pipet metodom u natrij pirofosfatu (Škorić, 1992.), dok je teksturna oznaka određena na osnovi Soil Survey Manual (1951.). Također, prema Škoriću (1992.) izračunati su kapaciteti tla za vodu i zrak, a retencijski kapacitet tla za vodu po Gračaninu određen je u uzorcima uzetim cilindrima u nenarušenom stanju. Pomoću težine suhog tla u volumenu cilindra određena je volumna gustoća tla, a gustoća čvrste faze tla Albert-Bogsovom metodom (Škorić, 1992.).

2. 6. Kemijske analize biljnog materijala

Uzorci lista i zrna kukuruza pripremljeni su za mjerenje koncentracije mikroelemenata razaranjem mokrim postupkom i digestijom na bloku za razaranje. Na 1 g uzorka biljnog materijala dodano je 5 ml smjese kiselina (koncentrirana sulfatna kiselina koja sadrži 4 % perkloratne kiseline), a kada je biljna tvar upila kiselinu, dodano je 5 ml vodikovog

peroksida nakon čega su uzorci razoreni na bloku za razaranje 30-ak minuta na 360°C, tj. dok se otopina nije izbistrila. Ohlađena otopina je razrijeđena s 50 ml destilirane vode i kvantitativno profiltrirana u tikvicu od 100 ml te nadopunjena do oznake destiliranom vodom. Koncentracija Fe, Mn, Zn i Cu određena je izravno iz dobivene otopine pomoću ICP-OES-a.

Sve navedene laboratorijske analize obavljene su u laboratoriju Zavoda za agroekologiju Poljoprivrednog fakulteta u Osijeku, dok je određivanje sadržaja proteina, ulja i škroba u uzorcima zrna kukuruza obavljeno u laboratoriju Poljoprivrednog instituta Osijek pomoću Infratec 1241 Grain Analyser (Foss, Danska), uređaja koji radi na principu NIT tehnologije (Near Infrared Transmission) odnosno bliske infracrvene (570-1050 nm) transmisije.

2. 7. Statistička obrada podataka

Dobiveni rezultati su obrađeni u računalnom programu SAS Software 9.1.3. (SAS Institute Inc., 2003.). Statistička obrada podataka o istraživanim svojstvima je provedena pojedinačnom i kombiniranom analizom varijance uz korištenje F testa. Značajnost razlika između prosječnih vrijednosti ispitivanih faktora i tretmana je ocjenjena LSD-om.

Također, pomoću računalnog programa Excel 2013. napravljene su korelacije između ispitivanih svojstava.

3. AGROEKOLOŠKI UVJETI UZGOJA

Vremenske prilike tijekom vegetacijskog razdoblja, prvenstveno količina i raspored oborina te temperatura zraka, ali i ostali klimatski elementi, značajno utječu na rast i razvoj ratarskih usjeva i na visinu prinosa. Na području istočne Hrvatske, odnosno na području istraživanja pogodni su uvjeti za uzgoj kukuruza, a glavni uzrok variranja prinosa po godinama je nedostatak oborina koji se najčešće javlja u srpnju i kolovozu, u doba najvećih potreba kukuruza za vodom.

Analiza vremenskih prilika u ovom istraživanju temeljena je na dekadnim i ukupnim mjesečnim količinama oborina (mm) te na srednjim dekadnim i mjesečnim temperaturama zraka (°C) za vegetacijsko razdoblje kukuruza u usporedbi s višegodišnjim prosječnim vrijednostima za razdoblje 1981. - 2005. Podaci su prikupljeni na meteorološkim postajama Državnog hidrometeorološkog zavoda Republike Hrvatske Osijek za lokaciju na Poljoprivrednom institutu Osijek i na postaji Našice za lokaciju Podgorač. S obzirom da se vegetacija kukuruza odvija u toplom dijelu godine prikazane su vrijednosti odnose na razdoblje od travnja do listopada. Istraživane godine značajno su se razlikovale po vremenskim prilikama i odstupale od višegodišnjeg prosjeka, naročito u pogledu količine oborina (Grafikon 1, Grafikon 2).

3. 1. Vremenske prilike u 2010. godini

Prema općoj ocjeni klime Državni hidrometeorološki zavod navodi da je 2010. godina na području Hrvatske bila toplija i vlažnija od prosjeka. U klasi ekstremno kišno se nalazilo 50 % površine Hrvatske, vrlo kišno 25 % i kišno 24 % što znači da je 99 % teritorija imalo iznadprosječnu količinu oborina (Državni hidrometeorološki zavod, 2011.).

Vremenski uvjeti za proizvodnju kukuruza su bili specifični zbog velike količine oborina. Na obje lokacije je palo više oborina od višegodišnjeg prosjeka (1981. - 2005.) i to za oko 60 %. Zbog velike količine oborina u svibnju i naročito u lipnju, 2010. godine je proglašena elementarna nepogoda velike količine oborina i poplava na području Osječko-baranjske županije (OBŽ, 2011.). Istovremeno srednja temperatura zraka je bila u razini promatranog višegodišnjeg prosjeka iako je tijekom ljetnih mjeseci bila nešto viša.

Ukupna količina oborina na meteorološkoj postaji Osijek u vegetacijskom razdoblju je iznosila 744 mm, odnosno 296 mm više od višegodišnjeg prosjeka pri čemu su svi mjeseci osim srpnja imali veće količine oborina (Tablica 3.). Vrijednosti količine oborina i na meteorološkoj postaji Našice prate trend specifičnih uvjeta vegetacijske godine. Tako je ukupno palo 806 mm oborina što je čak 62 % više od prosjeka. Prosječne srednje dnevne temperature zraka na obje lokacije su bile u razini višegodišnjeg prosjeka.

Travanj je na lokaciji Osijek bio kišovitiiji za 17 mm ili 24 % i topliji za 0,9°C. Raspored oborina u prve dvije dekade je bio pravilan dok je u trećoj palo samo 4 mm oborina. Srednja temperatura zraka po dekadama je rasla sukladno ovom dijelu godine i prosječno je iznosila 12,1°C. Na meteorološkoj postaji Našice je izmjerena približno ista količina oborina u odnosu na višegodišnji prosjek (68 mm i 64 mm) dok je temperatura zraka bila veća za 1,0°C.

U prvoj dekadi svibnja u Osijeku je palo samo 2 mm oborina dok je u preostale dvije dekade količina oborina bila dvostruko veća od prosjeka. Prosječna temperatura zraka je bila niža za 0,6°C uz izraženiji pad u drugoj dekadi. U Našicama je u istom razdoblju palo više oborina u odnosu na višegodišnji prosjek i u odnosu na lokaciju Osijek (190 mm, 70 mm i 121 mm) uz jednaku prosječnu temperaturu zraka.

Lipanj je bio najkišovitiiji mjesec u godini na obje lokacije. Na meteorološkoj postaji Osijek izmjereno je ukupno 234 mm oborina ili 175 % više od višegodišnjeg prosjeka. Od ukupne količine u jednom danu (22. lipnja 2010.) je palo čak 107 mm što je više i od višegodišnjeg prosjeka za cijeli mjesec (85 mm). Takvi uvjeti su na mnogim usjevima imali katastrofalne posljedice. Na meteorološkoj postaji Našice je također izmjereno 132 % više oborina u odnosu na višegodišnji prosjek (218 mm i 94 mm) pri čemu je samo 22. lipnja 2010. palo 69 mm oborina. Srednja mjesečna temperatura zraka je bila gotovo jednaka višegodišnjem prosjeku (Tablica 4.).

Tijekom srpnja je palo dvostruko manje oborina na obje lokacije i to je jedini mjesec tijekom vegetacije u kojem je količina oborina bila manja od višegodišnjeg prosjeka (Grafikon 1.). Prosječna temperatura zraka je bila veća za 1,5°C pri čemu je sredina mjeseca bila izuzetno topla uz prosječnu vrijednost od 26,3°C. Slično je bilo i na području Našica. Tijekom cijelog

srpnja palo je manje kiše, a prosječna temperatura zraka je bila viša za čak 1,6°C uz najveće vrijednosti sredinom mjeseca, slično kao na lokaciji Osijek.

U nastavku vegetacije je također palo više oborina od prosjeka. Tako je kolovoz na lokaciji Osijek bio kišovitiiji za čak 68 % uz približno istu temperaturu zraka, a rujan za 69 % uz manju temperaturu zraka za 1,1°C. U listopadu je palo malo više oborina uz znatno nižu vrijednost temperature zraka za čak 2,5°C.

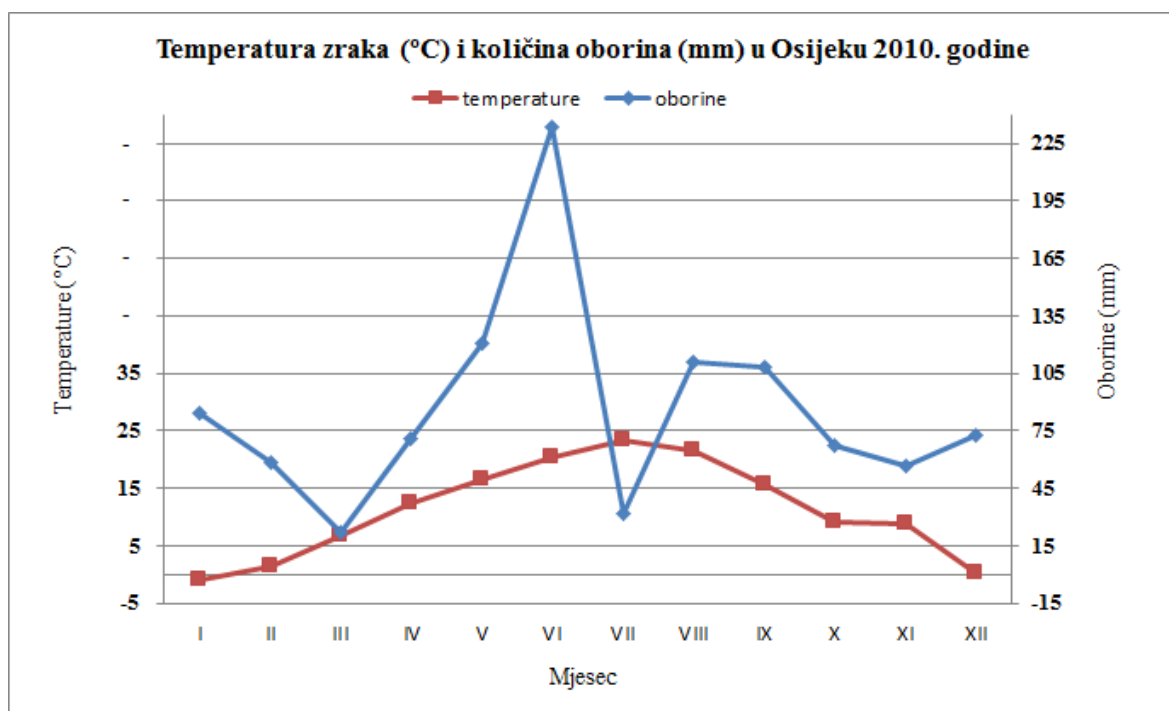
Na meteorološkoj postaji Našice u kolovozu je zabilježeno manje oborina od višegodišnjeg prosjeka (59 mm i 75 mm). Važno je istaknuti kako je čak 21 dan u kolovozu bio bez oborina uz temperaturni maksimum od 25,8°C. Rujan je ponovno bio izuzetno kišovit uz povećanje oborina za čak 92 % i uz nižu temperaturu zraka za 1,2°C. Na području Našica u listopadu je također izmjerena nešto veća količina oborina uz znatno nižu temperaturu zraka za čak 2,4°C.

Tablica 3. Ukupne, prosječne i dekadne vrijednosti količine oborina i srednjih dnevnih temperatura zraka 2010. godine i višegodišnji prosjek (1981.-2005.) na meteorološkoj postaji Osijek

Mjesec/ dekade	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Ukupno
Oborine (mm)								
I.	10	2	81	3	89	25	11	
II.	57	82	15	4	0	72	30	
III.	4	37	139	25	21	11	25	
Prosjek	71	121	234	32	111	108	67	744
Prosjek 1981.-2005.	54	62	85	61	66	64	55	448
Srednje temperature zraka (°C)								
I.	10,5	17,7	19,0	22,3	22,0	15,8	11,0	
II.	11,2	13,3	23,9	26,3	23,3	16,5	9,5	
III.	15,5	18,5	18,4	21,3	20,0	14,4	7,1	
Prosjek	12,4	16,5	20,4	23,2	21,7	15,6	9,1	17,0
Prosjek 1981.-2005.	11,5	17,1	19,9	21,7	21,3	16,7	11,6	17,1

S aspekta proizvodnje kukuruza i drugih jarih kultura 2010. godina se može okarakterizirati kao relativno povoljna. Prema Državnom zavodu za statistiku (2012.) prosječan prinos kukuruza u Hrvatskoj 2010. godine je bio 7,0 t ha⁻¹ što je za oko 1 t ha⁻¹ više od prosječnog prinosa kukuruza za zrno. Iznadprosječne količine oborina tijekom ljetnih mjeseci i

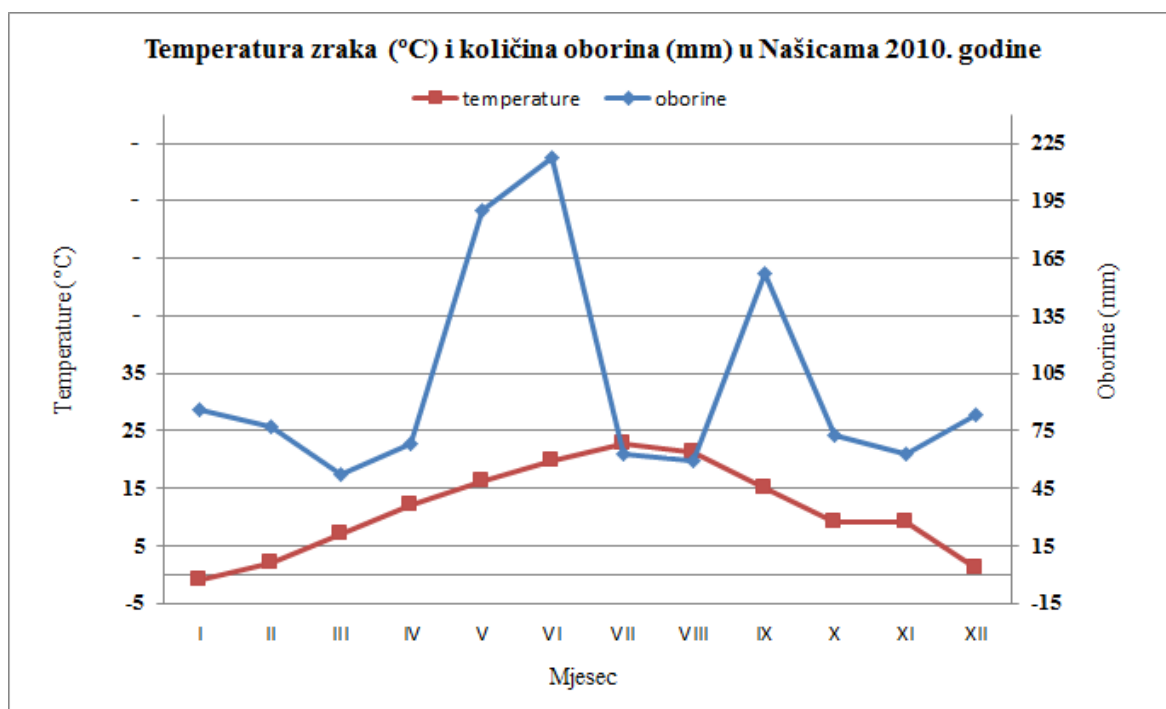
kontinuirana raspoloživost vodom povoljno su utjecali na rast i razvoj kukuruza, osobito na oplodnju, formiranje i nalijevanje zrna.



Grafikon 1. Klimadijagram prema Walter-u za meteorološku postaju Osijek tijekom 2010. godine

Tablica 4. Ukupne, prosječne i dekadne vrijednosti količine oborina i srednjih dnevnih temperatura zraka 2010. godine i višegodišnji prosjek (1981.-2005.) na meteorološkoj postaji Našice

Mjesec/ dekade	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Ukupno
Oborine (mm)								
I.	16	1	98	22	21	37	15	
II.	51	90	11	0	0	103	36	
III.	1	99	109	19	17	17	21	
Prosjek	68	190	218	41	59	157	73	806
Prosjek 1981.-2005.	64	70	94	68	75	82	67	520
Srednje temperature zraka (°C)								Prosjek
I.	10,5	17,3	18,4	22,2	21,4	15,4	10,9	
II.	10,6	13,2	23,2	25,8	22,9	16,2	9,0	
III.	15,2	18,1	17,8	20,8	19,5	13,8	7,1	
Prosjek	12,1	16,2	19,8	22,9	21,2	15,1	9,0	16,6
Prosjek 1981.-2005.	11,1	16,2	19,4	21,3	20,8	16,3	11,4	16,6



Grafikon 2. Klimadijagram prema Walter-u za meteorološku postaju Našice tijekom 2010. godine

3. 2. Vremenske prilike u 2011. godini

Godina 2011. bila je toplija i s manjom količinom oborina u odnosu na višegodišnji prosjek 1961.-1991. (Državni hidrometeorološki zavod, 2013.). Prema istom izvoru čak 65 % površine Republike Hrvatske je bilo ekstremno toplo, 30 % vrlo toplo i 5 % toplo što znači kako je na cijelom teritoriju Hrvatske bilo znatnih odstupanja od „uobičajene“ godine. Također, osim visokih temperatura zraka godinu karakterizira i manja količina oborina od višegodišnjeg prosjeka 1961.-1991. U kategoriji ekstremno sušno se nalazilo čak 80 % površine Republike Hrvatske dok je vrlo sušno bilo na 14 % i sušno na 5 % teritorija.

U 2011. godini je palo manje oborina u odnosu na prethodnu godinu i u odnosu na dvadesetpetogodišnji prosjek (1981. - 2005.). Na meteorološkoj postaji Osijek ukupna količina oborina tijekom vegetacije kukuruza (travanj-listopad) je bila 39 % niža od promatranog višegodišnjeg prosjeka (Tablica 5.). U istom razdoblju na području Našica je palo 41 % manje oborina od prosjeka (Tablica 6.). Izraziti nedostatak oborina na obje lokacije je zabilježen tijekom kolovoza i rujna.

Prosječna srednja dnevna temperatura zraka na obje lokacije je bila viša tijekom vegetacije kukuruza u odnosu na višegodišnji promatrani prosjek. Tako je na lokaciji Osijek bila viša za 1,0°C, a na lokaciji Našice za 1,2°C. U odnosu na prethodnu godinu (2010.), temperatura zraka je bila također viša za oko 1,1°C.

Na meteorološkoj postaji Osijek ukupna količina oborina tijekom vegetacije kukuruza je iznosila samo 275 mm što je 172 mm manje od višegodišnjeg prosjeka. U promatranom razdoblju samo su svibanj i srpanj imali nešto veću količinu oborina, dok je ostatak vegetacije karakterizirao manjak oborina. U usporedbi s prethodnom godinom količina oborina je bila manja za čak 469 mm. Na lokaciji Našice količina oborina je bila 520 mm ili 213 mm manja u odnosu na višegodišnji prosjek pri čemu je samo u srpnju palo više oborina, dok je u svim ostalim mjesecima bilo manje oborina.

Travanj je bio topliji i sušniji od višegodišnjeg prosjeka. U Osijeku je ukupna količina oborina iznosila tek 20 mm što je 63 % manje od višegodišnjeg prosjeka pri čemu su prva i treća dekada bile bez oborina. U istom razdoblju temperatura zraka je bila viša za 1,7°C. U Našicama je palo 22 mm oborina što je u odnosu na višegodišnji prosjek 66 % manje, dok je temperatura zraka bila viša za 1,9°C.

Količina oborina u svibnju na lokaciji Osijek je bila viša za 24 % uz izraženije padaline početkom i krajem mjeseca dok je prosječna temperatura zraka bila neznatno veća. Iako prostorno ne tako udaljeno, na lokaciji Našice je palo manje oborina od višegodišnjeg prosjeka za 36 %. Istovremeno, temperatura zraka je bila na razini višegodišnjeg prosjeka i iznosila je 16,1 °C.

U lipnju se nastavlja trend manje količine oborina. Tako je u Osijeku palo 41 % manje kiše uz značajno niže vrijednosti u drugoj i trećoj dekadi kada je palo svega 9 mm. Prosječna temperatura zraka je bila viša za 0,9°C. Također, manja količina oborina je pala i na području Našica, ali uz nešto povoljniju distribuciju tijekom mjeseca. Temperatura zraka je bila viša za 1,2°C.

Tijekom srpnja na obje ispitivane lokacije količina oborina je bila malo veća od višegodišnjeg prosjeka. U Osijeku je ukupno palo 74 mm ili 13 mm više dok je u Našicama količina oborina iznosila 87 mm što je za 19 mm više. Prosječne temperature zraka su također bile više za svega 0,5°C (Osijek) i 0,8°C (Našice).

Kolovoz je bio vrlo nepovoljan zbog izrazitog nedostatka oborina uz znatno više temperature zraka. Tijekom cijelog mjeseca na meteorološkoj postaji Osijek je zabilježeno svega 5 mm oborina što je čak 92 % manje od višegodišnjeg prosjeka. Istovremeno, prosječna temperatura zraka je bila viša za čak 1,8°C. Iako je na području Našica palo malo više kiše (15 mm), postignute vrijednosti nisu niti približne višegodišnjim vrijednostima (75 mm). Temperature zraka su također bile više za 1,9°C.

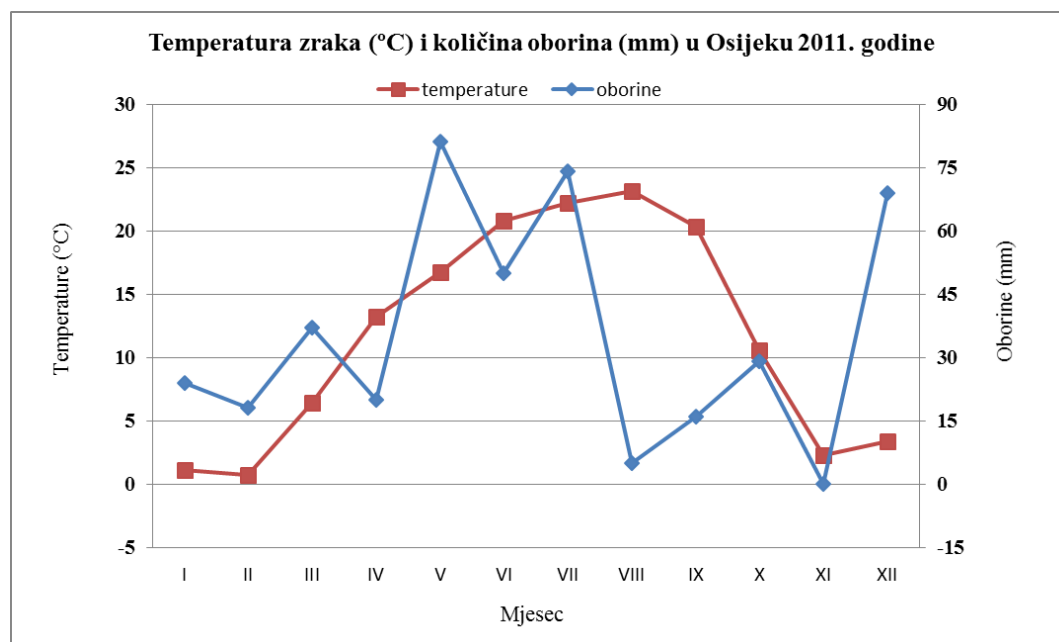
Negativan trend nedostatka vode nastavlja se i u rujnu. U Osijeku je ukupna količina oborina iznosila svega 17 mm što je manje za čak 47 mm. Iako je na području Našica pala ista količina oborina, manjak je još veći i iznosi 65 mm zbog veće vrijednosti višegodišnjeg prosjeka. Temperature zraka su bile izrazito visoke na obje lokacije uz povećanje 3,6°C na lokaciji Osijek i 3,4°C na lokaciji Našice.

Tijekom listopada je palo također manje oborina ali uz nešto manja odstupanja u odnosu na višegodišnji prosjek dok je temperatura zraka bila niža za 1,0°C na obje lokacije.

Sa stajališta uzgoja kukuruza za zrno 2011. godina nije bila najpovoljnija za proizvodnju što potvrđuju i podatci Državnog zavoda za statistiku o prosječno ostvarenom prinosu od 5,7 t ha⁻¹. Glavni razlog je manja količina oborina u usporedbi s višegodišnjim prosjekom te viša srednja temperatura zraka. Međutim, usprkos znatno manjoj količini važno je naglasiti kako je raspred oborina bio uglavnom dobar osim u kolovozu kada je palo samo 5 mm kiše.

Tablica 5. Ukupne, prosječne i dekadne vrijednosti količine oborina i srednjih dnevnih temperatura zraka 2011. godine i višegodišnji prosjek (1981.-2005.) na meteorološkoj postaji Osijek

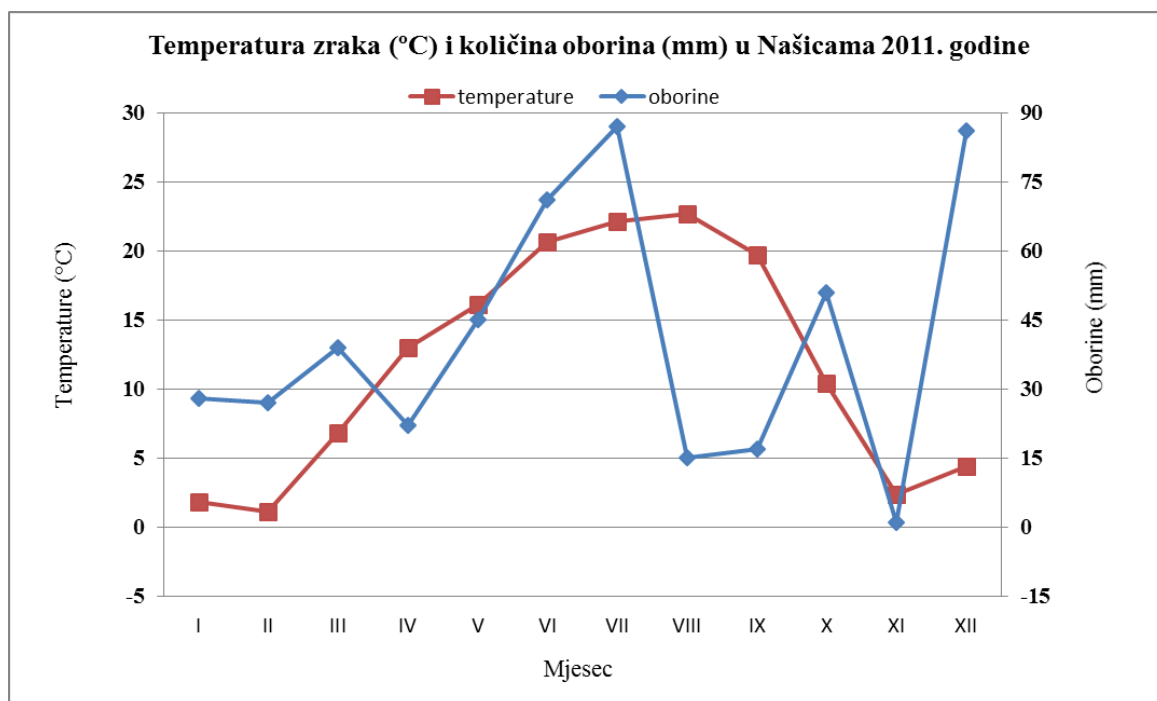
Mjesec/ dekade	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Ukupno
Oborine (mm)								
I.	0	26	42	13	2	6	4	
II.	19	3	7	5	0	5	2	
III.	1	52	2	56	3	6	22	
Prosjek	20	81	50	74	5	17	28	275
Prosjek 1981.-2005.	54	62	85	61	66	64	55	447
Srednje temperature zraka (°C)								
I.	13,3	12,4	21,0	22,7	21,8	22,5	14,4	
II.	10,6	12,7	20,2	25,1	22,7	21,4	8,7	
III.	15,7	19,9	21,2	19,0	24,5	17,2	8,9	
Prosjek	13,2	16,7	20,8	22,2	23,1	20,3	10,6	18,1
Prosjek 1981.-2005.	11,5	17,1	19,9	21,7	21,3	16,7	11,6	17,1



Grafikon 3. Klimadijagram prema Walter-u za meteorološku postaju Osijek tijekom 2011. godine

Tablica 6. Ukupne, prosječne i dekadne vrijednosti količine oborina i srednjih dnevnih temperatura zraka 2011. godine i višegodišnji prosjek (1981.-2005.) na meteorološkoj postaji Našice

Mjesec/ dekade	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Ukupno
Oborine (mm)								
I.	0	22	30	12	13	2	20	
II.	19	8	39	22	2	9	0	
III.	2	14	2	54	0	6	30	
Prosjek	22	45	71	87	15	17	50	307
Prosjek 1981.-2005.	64	70	94	68	75	82	67	520
Srednje temperature zraka (°C)								
I.	14,3	12,1	20,5	23,0	21,3	22,0	13,8	
II.	10,2	16,4	19,9	25,1	22,2	20,6	9,2	
III.	14,6	19,4	21,4	18,6	24,3	16,4	8,5	
Prosjek	13,0	16,1	20,6	22,1	22,7	19,7	10,4	17,8
Prosjek 1981.-2005.	11,1	16,2	19,4	21,3	20,8	16,3	11,4	16,6



Grafikon 4. Klimadijagram prema Walter-u za meteorološku postaju Našice tijekom 2011. godine

3. 3. Svojstva tla

3. 3. 1. Kemijska svojstva tla

Na obje istraživane lokacije kemijske analize su pokazale da se radi o tlima bogato opskrbljenima pristupačnim fosforom i kalijem, ali različitih pH vrijednosti.

Tlo u Osijeku je bilo neutralno 2010. godine, odnosno slabo kiselo u drugoj godini istraživanja, 2011. U suprotnosti, tlo pokusne površine u Podgoraču karakterizira vrlo kisela pH reakcija tla u obje godine istraživanja i u prosjeku je pH u KCl-u iznosio samo 4,13. Prosječna hidrolitička kiselost je bila 6,44.

U pogledu opskrbljenosti tla biljci pristupačnim fosforom i kalijem nije bilo značajnije razlike između ispitivanih lokacija. U prosjeku za obje godine na lokaciji Podgorač je utvrđeno 26,4 mg 100 g⁻¹ P₂O₅ i 36,4 mg 100 g⁻¹ K₂O, odnosno 30,2 mg 100 g⁻¹ P₂O₅ i 37,3 mg 100 g⁻¹ K₂O na lokaciji Osijek (Tablica 7.). Oba tla su bila slabo humozna.

Tablica 7. Osnovna kemijska svojstva tla u Podgoraču i Osijeku 2010. i 2011. godine

Lokacija	Godina	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	AL-P ₂ O ₅ mg 100 g ⁻¹	AL-K ₂ O mg 100 g ⁻¹	Humus %	CaCO ₃ %	HK
Osijek	2010.	7,39	6,52	28,6	39,8	1,97	2,11	
	2011.	6,84	5,62	31,9	34,8	1,84	1,47	
Podgorač	2010.	5,80	4,20	28,6	35,1	2,02		6,81
	2011.	5,07	4,06	24,2	37,8	1,70		6,06

Kemijska analiza ukupnih mikroelemenata je pokazala približno slične vrijednosti Fe i Mn na obje lokacije, dok je u Osijeku utvrđena gotovo dvostruko veća koncentracija Cu, a u Podgoraču nešto više vrijednosti koncentracije Zn. Koncentracije pristupačnih mikroelemenata bile su općenito puno niže. Utvrđena koncentracija pristupačnog željeza je bila gotovo 10 puta veća u Podgoraču dok su razlike između ostalih mikroelemenata bile manje (Tablica 8.). Tako je koncentracija pristupačnog mangana, a naročito bakra bila veća na lokaciji Osijek, a cinka na lokaciji Podgorač.

Prema Trierweiler-Lindsayu (1969.) koncentracija pristupačnog Mn na obje lokacije je bila visoka dok je opskrbljenost Zn u Osijeku bila srednja, a u Podgoraču srednja do visoka. Prema istim autorima koncentracija Cu na lokaciji Podgorač je bila srednja, a na lokaciji Osijek visoka.

Tablica 8. Koncentracije ukupnih i pristupačnih mikroelemenata u tlu u Podgoraču i Osijeku 2010. i 2011. godine


Lokacija	Godina	Ukupni mikroelementi (mg kg ⁻¹)				Pristupačni mikroelementi (mg kg ⁻¹)			
		Fe	Mn	Zn	Cu	Fe	Mn	Zn	Cu
Osijek	2010.	33740	756	67,8	29,6	13,1	85,1	2,18	6,57
	2011.	31695	688	67,9	29,4	17,7	94,1	2,36	7,22
Podgorač	2010.	32238	640	73,6	16,9	119,9	70,6	3,78	2,71
	2011.	32290	626	73,1	16,7	119,5	70,7	2,73	2,53

3. 3. 2. Fizikalna svojstva tla


Na lokaciji Osijek determinirani tip tla je je eutrično smeđe tlo, a u Podgoraču pseudoglej na zaravni, hidromeliorirani (Slika 13. i Slika 14.).

Antropogeni oranični horizont - P u Osijeku je debljine 32 cm i mrvičaste strukture (Slika 13). Ispod njega se nalazi kambični (B)v te C horizont dok se na dubini preko 100 cm nalazi matični supstrat koji pokazuje znakove sekundarne oksidacije. Tekstura tla u svim horizontima je praškasta ilovača osim u kambičnom (B)v horizontu gdje je praškasto glinasta. Povećanjem dubine tla stuktura prelazi iz mrvičaste u praškastu uz izraženiju pojavu CaCO₃.

Na pedološkom profilu u Podgoraču su utvrđena tri horizonta pri čemu debljina antropogenog (P) iznosi 45 cm, a karakterizira ga krupno mrvičasta struktura, dok je po teksturi praškasta ilovača (Slika 14). Ispod njega dolazi iluvijalni argiluvični (Btg) horizont praškasto glinaste teksture i mrvičaste strukture, dok je matični supstrat na dubini od 92 cm. Vrlo slaba prisutnost CaCO₃ nalazi se samo u C horizontu.

	Dubina	Horizont	Endomorfologija
	0-32	P	Boja tla: smeđa Tekstura: Praškasta ilovača Struktura: mrvičasta CaCO ₃ : -
	32-61	(B)v	Boja tla: mramorirano sivo smeđa Tekstura: Praškasto glinasta ilovača Struktura: mrvičasta CaCO ₃ : +
	61-100	C	Boja tla: žuto siva Tekstura: Praškasta ilovača Struktura: sitno mrvičasta CaCO ₃ : +++
	100-120	CGso	Boja tla: žuta Tekstura: Praškasta ilovača Struktura: praškasta CaCO ₃ : +++

Slika 13. Pedomorfološke značajke profila tla na lokaciji Osijek (Eutrično smeđe tlo)

	Dubina	Horizont	Endomorfologija
	0-45	P	Boja tla: maslinasto siva Tekstura: Praškasta ilovača Struktura: krupno mrvičasta CaCO ₃ : -
	45-92	Btg	Boja tla: mramorirano sivo smeđa Tekstura: Praškasto glinasta ilovača Struktura: mrvičasta CaCO ₃ : -
	92-125	C	Boja tla: sivo žuta Tekstura: Praškasto glinasta ilovača Struktura: sitno mrvičasta do praškasta CaCO ₃ : +

Slika 14. Pedomorfološke značajke profila tla na lokaciji Podgorač (Pseudoglej na zaravni)

Na lokaciji Podgorač najmanji udio gline je utvrđen u oraničnom horizontu (24,6 %), a najveći u iluvijalno argiluvličnom (Btg) horizontu (33,6 %). Na lokaciji Osijek u CGso horizontu je utvrđen najmanji sadržaj gline (19,1 %), a najveći u kambičnom (B) horizontu (30,5 %). Općenito, oranični sloj u Podgoraču je imao veće vrijednosti sadržaja krupnog i sitnog pijeska te sitnog praha dok je u Osijeku utvrđen veći postotak krupnog praha i gline (Tablica 9.).

Tablica 9. Mehanički sastav tla

Lokacija	Dubina (cm)	Sadržaj mehaničkih čestica (%)					Teksturna oznaka
		Krupni pijesak	Sitni pijesak	Krupni prah	Sitni prah	Glina	
Podgorač	0-45	3,8	3,7	33,5	34,4	24,6	Praškasta ilovača
	45-92	0,9	3,4	35,2	26,9	33,6	Praškasto glinasta ilovača
	92-125	1,2	5,1	41,0	23,3	29,5	Praškasto glinasta ilovača
Osijek	0-32	0,3	1,2	39,9	31,3	27,2	Praškasta ilovača
	32-61	0,2	0,9	36,7	31,7	30,5	Praškasto glinasta ilovača
	61-100	2,6	3,2	35,0	35,6	23,6	Praškasta ilovača
	100-120	3,3	3,8	43,2	30,6	19,1	Praškasta ilovača

U pogledu fizikalnih svojstava tla uočene su male razlike između lokacija, odnosno horizonata (Tablica 10). Poroznost tla je bila mala, a retencijski kapacitet tla za vodu (K_v) osrednji na obje lokacije i u svim horizontima. Retencijski kapacitet tla za zrak (K_z) je bio mali samo u oraničnom sloju na lokaciji Podgorač (4,69 %) dok je u Osijeku bio vrlo mali. Volumna gustoća tla u antropogenom horizontu je bila veća u Osijeku ($1,61 \text{ g cm}^{-1}$) u usporedbi s lokacijom Podgorač ($1,42 \text{ g cm}^{-1}$), kao i gustoća čvrste faze tla ($2,72 \text{ g cm}^{-1}$ Osijek i $2,53 \text{ g cm}^{-1}$ Podgorač).

Tablica 10. Fizikalna svojstva tla

Lokacija	Dubina (cm)	Poroznost tla		Retencijski kapacitet tla za vodu (Kv)		Retencijski kapacitet tla za zrak (Kz)		Gustoća tla (g/cm ³)		Gustoća pakovanja	
		% vol	Ocjena	% vol	Ocjena	% vol	Ocjen a	(pv)	(ρč)	g/cm ³	Ocjena zbijenos ti
Podgorač	0-45	43,8	malo porozno	39,1	osrednji	4,69	mali	1,42	2,53	1,64	srednja zbijenos t
	45-92	41,1	malo porozno	38,6	osrednji	2,47	vrlo mali	1,59	2,70	1,89	jaka zbijenos t
Osijek	0-32	40,9	malo porozno	37,9	osrednji	2,98	vrlo mali	1,61	2,72	1,86	jaka zbijenos t
	32-61	42,0	malo porozno	39,9	osrednji	2,13	vrlo mali	1,52	2,63	1,80	jaka zbijenos t

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

4. 1. Prinos zrna kukuruza

Na temelju pojedinačnih analiza varijance i F-testa utvrđen je značajan i vrlo značajan utjecaj hibrida na prinos zrna kukuruza na svim lokacijama osim na lokaciji Osijek u 2011. godini (Tablica 11.).

Tablica 11. Značajnost F testa za prinos zrna kukuruza ($t\ ha^{-1}$) po godinama i lokalitetima

Izvor variranja	Stupnjevi slobode	2010.		2011.	
		Osijek	Podgorač	Osijek	Podgorač
Hibrid (H)	9	**	*	ns	**
Ponavljjanje (R)	2	ns	ns	**	ns
Ukupno (Model)	11	**	*	**	**

** značajno na razini $P = 0,01$; * značajno na razini $P = 0,05$; ns (not significant) nije značajno

Učinak svih glavnih čimbenika u tročimbeničnoj analizi varijance za prinos zrna kukuruza bio je visokosignifikantan, pri čemu je najveći utjecaj imala lokacija i interakcija lokacija x godina (Tablica 12.). Također, vrlo značajan učinak pokazale su i sve dvočimbenične odnosno tročimbenične interakcije.

Tablica 12. Analiza varijance, F-vrijednosti i signifikantnost učinaka hibrida, lokacije i godine te njihovih interakcija na prinos zrna kukuruza kroz dvije godine na dvije lokacije

Izvor variranja	Stupnjevi slobode	Varijanca	F vrijednosti
Hibrid (H)	9	0,82	3,23 **
Lokacija (L)	1	527,3	2070,3 **
Godina (G)	1	7,56	29,7 **
HL	9	1,77	6,96 **
HG	9	1,63	6,41 **
LG	1	183,6	720,7 **
HLG	9	1,26	4,94 **

** značajno na razini $P = 0,05$; * značajno na razini $P = 0,01$; ns (not significant) nije značajno

U provedenom istraživanju najveći prinos je ostvaren na lokaciji Osijek u 2011. godini dok je gotovo dvostruko niži prinos postignut iste godine, ali na lokaciji Podgorač. U prosjeku je u Osijeku postignut veći prinos u usporedbi s lokacijom Podgorač. Razlika prosječnih prinosa između lokacija bila je znatno manja u 2010. godini.

Najveći prinos u provedenom istraživanju je postigao hibrid Drava 404 (11,92 t ha⁻¹) u Osijeku 2011. godine dok je hibrid OSSK 552 (4,76 t ha⁻¹) imao najmanji prinos zrna kukuruza iste godine na lokaciji Podgorač.

U Osijeku 2010. godine prosjek okoline je iznosio 9,57 t ha⁻¹ uz variranje prinosa od 10,84 t ha⁻¹ (OSSK 596) do 8,59 t ha⁻¹ koliko je postigao OSSK 552. U drugoj godini istraživanja, iako nije utvrđen statistički opravdan utjecaj istraživanih hibrida, Drava 404 je imao najveći, a OSSK 617 najmanji prinos. U Podgoraču 2010. godine najveći prinos je imao hibrid OSSK 602, a najmanji OS 5717. Na istoj lokaciji u 2011. godini hibrid OSSK 515 je ostvario najveći, a OSSK 552 najmanji prinos zrna kukuruza.

Tablica 13. Srednje vrijednosti prinosa zrna (t ha⁻¹) 10 hibrida kukuruza po lokalitetima i godinama istraživanja s odgovarajućim vrijednostima najmanje značajne razlike (LSD) na razini P≤0,05

Okolina/ hibrid	Osijek		Prosje Osijek	Podgorač		Prosje Podgorač	Prosje hibrida
	2010.	2011.		2010.	2011.		
Drava404	9,70 bc	11,92	10,81 ab	8,10 ab	5,32 cde	6,71 abc	8,76 ab
OS430	8,85 cd	11,23	10,04 de	8,30 ab	6,18 ab	7,24 a	8,64 abc
OSSK444	8,84 cd	10,83	9,83 e	7,98 ab	5,68 bc	6,83 abc	8,33 cd
OS499	9,96 ab	11,26	10,61 abcd	8,85 a	5,59 bcd	7,22 a	8,92 a
OSSK515	9,80 abc	11,60	10,70 abc	7,43 bc	6,59 a	7,01 ab	8,86 a
OS5717	9,97 ab	11,64	10,81 ab	6,85 c	5,81 bc	6,33 c	8,57 abc
OSSK552	8,59 d	11,15	9,87 e	8,30 ab	4,76 e	6,53 bc	8,20 d
OSSK596	10,84 a	11,39	11,11 a	7,69 bc	4,96 de	6,33 c	8,72 ab
OSSK602	9,22 bcd	11,03	10,13 cde	8,97 a	5,40 cde	7,19 a	8,66 abc
OSSK617	9,95 ab	10,74	10,34 bcde	8,35 ab	4,78 e	6,57 bc	8,45 bcd
Prosje okoline	9,57 b	11,28 a	10,43 a	8,08 a	5,51 b	6,79 b	8,61
LSD _{0,05}	1,06	--	0,57	1,09	0,69	0,59	0,37

Srednje vrijednosti unutar kolona označene istim slovom se značajno ne razlikuju na razini P≤0,05

Općenito, prosječno ostvaren prinos u cijelom istraživanju je iznosio 8,61 t ha⁻¹ uz variranje od 8,20 t ha⁻¹ (OSSK 552) do 8,92 t ha⁻¹ (OS 499).

4. 2. Vlaga zrna kukuruza

F-testom i pojedinačnim analizama varijance utvrđen je vrlo značajan utjecaj hibrida na sadržaj vlage u zrnu u sve četiri okoline (Tablica 14.).

Tablica 14. Značajnost F testa za sadržaj vlage (%) u zrnu kukuruza po godinama i lokalitetima

Izvor variranja	Stupnjevi slobode	2010.		2011.	
		Osijek	Podgorač	Osijek	Podgorač
Hibrid (H)	9	**	**	**	**
Ponavljanje (R)	2	ns	ns	ns	ns
Ukupno (Model)	11	**	**	**	**

** značajno na razini $P = 0,01$; * značajno na razini $P = 0,05$; ns (not significant) nije značajno

U provedenom istraživanju tročimbenična analiza varijance je pokazala vrlo značajan učinak sva tri glavna čimbenika pri čemu je godina imala najveći utjecaj (Tablica 15.). Također, vrlo značajan utjecaj su imale interakcije hibrid x lokacija, hibrid x godina te interakcija sva tri čimbenika dok interakcija lokacija x godina nije bila značajna.

Tablica 15. Analiza varijance, F-vrijednosti i signifikantnost učinaka hibrida, lokacije i godine te njihovih interakcija na sadržaj vlage kukuruza kroz dvije godine na dvije lokacije

Izvor variranja	Stupnjevi slobode	Varijanca	F vrijednosti
Hibrid (H)	9	100,7	113,3 **
Lokacija (L)	1	745,6	838,5 **
Godina (G)	1	1656,4	1862,6 **
HL	9	9,84	11,1 **
HG	9	9,35	10,5 **
LG	1	1,98	2,2 ns
HLG	9	17,4	19,5 **

** značajno na razini $P = 0,05$; * značajno na razini $P = 0,01$; ns (not significant) nije značajno

Vlaga zrna u trenutku gospodarske zriobe direktno utječe na prinos, a ovisi o više čimbenika (FAO skupina, karakteristike vremenskih prilika, svojstva tla i dr.). U provedenom istraživanju prosječno ostvarena vlaga u obje godine istraživanja i na obje lokacije je iznosila 23,0 %. Općenito, veću vrijednost sadržaja vlage u zrnu ostvarena je u Podgoraču u odnosu na lokaciju Osijek, uz razliku od 4,4 % (Tablica 16.). Najveći sadržaj je postignut na lokaciji Podgorač 2010. godine (28,3 %), a najmanji u Osijeku 2011. godine (17,5 %).

U istraživanju je utvrđeno značajno variranje sadržaja vlage u zrnju. Najveći sadržaj vode u zrnju kukuruza je imao hibrid OSSK 596 (30,6 %) tijekom 2010. godine na lokaciji Podgorač dok su istovremeno čak tri hibrida (OS 430, OSSK 515 i OS 5717) imali istu vrijednost od svega 15,7 % ostvarenu tijekom 2011. godine na lokaciji Osijek što je dvostruko niže. Pojedinačnim analizama varijance utvrđena je manja varijacija sadržaja vlage između hibrida u 2011. godini, naročito na lokaciji Osijek.

Općenito, hibridi kraće vegetacije su imali manji sadržaj vlage i obrnuto. Međutim, zanimljivo je istaknuti kako je hibrid srednje rane vegetacije OS 499 u prosjeku imao nešto veći sadržaj vlage u zrnju u odnosu na hibride iz svoje FAO skupine dok je OS 5717 imao nešto niži postotak vlage u odnosu na hibride slične FAO skupine.

Tablica 16. Srednje vrijednosti sadržaja vlage u zrnju (%) kod 10 hibrida kukuruza po lokalitetima i godinama istraživanja s odgovarajućim vrijednostima najmanje značajne razlike (LSD) na razini $P \leq 0,05$

Okolina/ hibrid	Osijek		Prosje Osijek	Podgorač		Prosje Podgorač	Prosje hibrida
	2010.	2011.		2010.	2011.		
Drava404	22,5 ef	15,8 c	19,2 d	25,0 g	18,6 cd	21,8 d	20,5 e
OS430	23,0 def	15,7 c	19,3 d	25,6 fg	16,5 d	21,0 d	20,2 e
OSSK444	21,8 f	16,0 c	18,9 d	26,7 ef	17,3 d	22,0 d	20,5 e
OS499	23,4 de	19,6 a	21,5 c	29,0 bc	22,1 b	25,6 b	23,5 b
OSSK515	23,5 de	15,7 c	19,6 d	27,5 de	20,9 bc	24,2 c	21,9 c
OS5717	22,6 ef	15,7 c	19,1 d	28,6 cd	17,9 d	23,2 c	21,2 d
OSSK552	23,8 d	18,9 ab	21,3 c	29,7 abc	22,8 b	26,2 b	23,8 b
OSSK596	25,4 c	19,6 a	22,5 b	30,6 a	28,2 a	29,4 a	26,0 a
OSSK602	29,1 a	18,6 b	23,9 a	30,0 ab	28,2 a	29,1 a	26,5 a
OSSK617	26,7 b	19,7 a	23,2 ab	30,0 ab	28,1 a	29,1 a	26,1 a
Prosje okoline	24,2 a	17,5 b	20,8 b	28,3 a	22,1 b	25,2 a	23,0
LSD _{0,05}	1,18	0,89	0,87	1,44	2,28	1,14	0,68

Srednje vrijednosti unutar kolona označene istim slovom se ne razlikuju značajno na razini $P \leq 0,05$

4. 3. Koncentracija mikroelemenata u listu

4. 3. 1. Koncentracija željeza u listu ispod klipa

Pojedinačnim analizama varijance i F-testom utvrđen je vrlo značajan utjecaj hibrida na koncentraciju Fe u listu kukuruza ispod klipa, osim u Osijeku 2011. godine (Tablica 17.). U 2010. godini na obje lokacije svi učinci su bili statistički opravdani, dok je u 2011. godini ista značajnost utvrđena samo na lokaciji Podgorač. U Osijeku 2011. godine niti jedan učinak nije bio signifikantan.

Tablica 17. Značajnost F testa za koncentracije Fe (mg kg^{-1}) u listu kukuruza ispod klipa po godinama i lokalitetima

Izvor variranja	Stupnjevi slobode	2010.		2011.	
		Osijek	Podgorač	Osijek	Podgorač
Hibrid (H)	9	**	**	ns	**
Ponavljanje (R)	2	**	*	ns	ns
Ukupno (Model)	11	**	**	ns	**

** značajno na razini $P = 0,01$; * značajno na razini $P = 0,05$; ns (not significant) nije značajno

Učinak svih glavnih čimbenika u tročimbeničnoj analizi varijance (hibrid, lokacija, godina) za istraživano svojstvo bio je visokosignifikantan, pri čemu je najveći utjecaj imala lokacija (Tablica 18.). Također, vrlo značajan učinak je pokazala interakcija hibrida i godine te značajan učinak interakcije sva tri glavna čimbenika, dok dvočimbenične interakcije koje uključuju lokaciju (HL, LG) nisu bile statistički opravdane.

Tablica 18. Analiza varijance, F-vrijednosti i signifikantnost učinaka hibrida, lokacije i godine te njihovih interakcija na koncentraciju Fe u listu kroz dvije godine na dvije lokacije

Izvor variranja	Stupnjevi slobode	Varijanca	F vrijednosti
Hibrid (H)	9	5043,1	11,75 **
Lokacija (L)	1	25 878,8	60,28 **
Godina (G)	1	13 504,2	31,45 **
HL	9	822,5	1,92 ns
HG	9	3442,9	8,02 **
LG	1	0,0023	0,00 ns
HLG	9	1528,6	3,56 *

** značajno na razini $P = 0,05$; * značajno na razini $P = 0,01$; ns (not significant) nije značajno

Najveća prosječna koncentracija željeza u listu ostvarena je u Osijeku 2010. godine (156 mg Fe kg⁻¹), a najmanja u Podgoraču 2011. godine (105 mg Fe kg⁻¹). Općenito, više koncentracije željeza u suhoj tvari lista utvrđene su na lokaciji Osijek gdje je prosječna koncentracija bila za 29 mg kg⁻¹ veća u odnosu na onu u Podgoraču (Tablica 19). Čak i najmanja prosječno postignuta vrijednost na lokalitetu Osijek u 2011. godini je bila nešto viša od najveće postignute vrijednosti u Podgoraču 2010. godine.

Tablica 19. Srednje vrijednosti koncentracije Fe (mg kg⁻¹) u listu kod 10 hibrida kukuruza po lokalitetima i godinama istraživanja s odgovarajućim vrijednostima najmanje značajne razlike (LSD) na razini P≤0,05

Okolina/ hibrid	Osijek		Prosjek Osijek	Podgorač		Prosjek Podgorač	Prosjek hibrida
	2010.	2011.		2010.	2011.		
Drava404	193 a	128	161 abc	164 a	94 bcd	129 ab	145 b
OS430	184 ab	125	154 bc	154 a	67 d	111 bcde	133 bc
OSSK444	183 ab	146	164 ab	146 ab	74 d	110 cde	137 b
OS499	155 bc	129	142 bc	128 bc	110 bc	119 bcd	131 bc
OSSK515	175 ab	143	159 abc	122 cd	122 b	122 bc	141 b
OS5717	203 a	170	186 a	129 bc	155 a	142 a	164 a
OSSK552	145 c	140	142 bc	103 de	179 a	141 a	142 b
OSSK596	97 d	108	102 d	97 e	86 cd	91 f	97 e
OSSK602	98 d	121	110 d	113 cde	75 d	94 ef	102 de
OSSK617	127 cd	136	132 cd	111 cde	90 cd	100 def	116 cd
Prosjek okoline	156 a	135 b	145 a	127 a	105 b	116 b	131
LSD _{0,05}	30	--	29	23	31	19	18

Srednje vrijednosti unutar kolona označene istim slovom se značajno ne razlikuju na razini P≤0,05

U Osijeku 2010. godine najveću prosječnu vrijednost koncentracije Fe u listu je ostvario hibrid OS 5717 (203 mg kg⁻¹) što je ujedno i najveća postignuta vrijednost u cijelom istraživanju, dok je istodobno najmanja vrijednost Fe u listu zabilježena kod hibrida OSSK 596 (97 mg kg⁻¹), što je više nego dvostruko manje. I u drugoj godini istraživanja na istoj lokaciji, premda nisu utvrđene statistički opravdane razlike između istraživanih hibrida, isti hibridi se ističu po najvišoj, odnosno najmanjoj koncentraciji željeza.

Na lokalitetu Podgorač u 2010. godini značajno veće koncentracije su postigla prva tri hibrida u istraživanju, dok je OSSK 596 ponovno imao najmanju vrijednost, identičnu onoj u Osijeku. Na istoj lokaciji u 2011. godini statistički najvišu vrijednost su postigli hibridi OS 552 i OS 5717, dok je hibrid OS 430 imao najnižu vrijednost koncentracije željeza u suhoj tvari lista kukuruza (67 mg kg^{-1}), što je najniža koncentracija kroz sve okoline. OSSK 552 je bio jedini hibrid u istraživanju koji je imao jednaku prosječnu koncentraciju željeza na obje lokacije.

Općenito, u istraživanju je utvrđeno veliko variranje koncentracije željeza između deset hibrida od čak 136 mg kg^{-1} (OS 5717, $203 \text{ mg Fe kg}^{-1}$ i OS 430, 67 mg Fe kg^{-1}). Hibrid OS 5717 je imao ukupno statistički značajno najveću prosječnu koncentraciju Fe u suhoj tvari lista ispod klipa od 164 mg kg^{-1} dok je hibrid OSSK 596 imao signifikantno najmanji prosjek od 97 mg Fe kg^{-1} , premda se nije značajno razlikovao od OSSK 602 (102 mg kg^{-1}). Općenito, kroz sve četiri okoline, najniža koncentracija željeza u listu je utvrđena kod tri najkasnija hibrida u istraživanju (OSSK 596, OSSK 602 i OSSK 617).

4. 3. 2. Koncentracija mangana u listu ispod klipa

Na temelju provedenog istraživanja uz pomoć pojedinačnih analiza varijance i F-testa utvrđen je vrlo značajan utjecaj hibrida na koncentraciju mangana u listu kukuruza ispod klipa u sve četiri okoline (Tablica 20.). Međutim, svi učinci su bili statistički opravdani samo na lokaciji Osijek 2011. godine.

Tablica 20. Značajnost F testa za koncentracije Mn (mg kg^{-1}) u listu kukuruza ispod klipa po godinama i lokalitetima

Izvor variranja	Stupnjevi slobode	2010.		2011.	
		Osijek	Podgorač	Osijek	Podgorač
Hibrid (H)	9	**	**	**	**
Ponavljanje (R)	2	ns	ns	*	ns
Ukupno (Model)	11	**	**	**	**

** značajno na razini $P = 0,01$; * značajno na razini $P = 0,05$; ns (not significant) nije značajno

Na koncentraciju mangana u listu kukuruza ispod klipa prema tročimbeničnoj analizi varijance vrlo značajno je utjecao hibrid, lokacija i godina uz izuzetno velik utjecaj lokacije (Tablica 21.). Također vrlo značajan utjecaj su pokazale i sve dvočimbenične interakcije pri čemu je najveći utjecaj imala interakcija lokacija x godina (LG).

Tablica 21. Analiza varijance, F-vrijednosti i signifikantnost učinaka hibrida, lokacije i godine te njihovih interakcija na koncentraciju Mn u listu kroz dvije godine na dvije lokacije

Izvor variranja	Stupnjevi slobode	Varijanca	F vrijednosti
Hibrid (H)	9	1536,4	6,21 **
Lokacija (L)	1	180 348,7	729,0 **
Godina (G)	1	4191,1	16,9 **
HL	9	1407,4	5,69 **
HG	9	1504,9	6,1 **
LG	1	9465,7	38,3 **
HLG	9	1063,0	4,3 **

** značajno na razini $P = 0,01$; * značajno na razini $P = 0,05$; ns (not significant) nije značajno

Na lokaciji Podgorač utvrđene su veće vrijednosti koncentracije mangana u suhoj tvari lista kukuruza ispod klipa gdje je prosječna koncentracija bila za 77 mg Mn kg^{-1} veća u usporedbi s onom u Osijeku. Najveća prosječna koncentracija mangana u listu je utvrđena u Podgoraču 2011. godine ($143 \text{ mg Mn kg}^{-1}$) dok je najmanja vrijednost utvrđena iste godine na lokaciji Osijek (48 mg Mn kg^{-1}). Također, u Podgoraču je 2010. godini utvrđena viša vrijednost koncentracije Mn u listu nego u Osijeku, premda su te razlike bile nešto manje izražene.

Općenito, u istraživanju su utvrđena izuzetno velika variranja koncentracije mangana u suhoj tvari lista kukuruza ispod klipa. Najmanja prosječna koncentracija je utvrđena kod hibrida OSSK 617 (32 mg Mn kg^{-1}) na lokaciji Osijek u 2010. godini u usporedbi s postignutom vrijednošću hibrida OSSK 552 od $217 \text{ mg Mn kg}^{-1}$ ostvarenom 2011. godine na lokaciji Podgorač (Tablica 22.).

U Osijeku 2010. godine značajno najveću prosječnu vrijednost koncentracije Mn u listu je postigao hibrid OSSK 444 (85 mg Mn kg^{-1}) dok je OSSK 617 ostvario najmanju prosječnu koncentraciju od 32 mg Mn kg^{-1} što je ujedno i najmanja zabilježena vrijednost u cijelom istraživanju. U drugoj godini istraživanja na lokalitetu Osijek isti hibridi (OSSK 444 i OSSK 617) su imali najveće odnosno najmanje prosječne vrijednosti koncentracije mangana u suhoj tvari lista kukuruza.

U Podgoraču statistički najvišu vrijednosti u 2010. godini je postigao samo jedan hibrid (OSSK 444), najnižu vrijednost dva hibrida (OSSK 515 i OS 5717) dok se svi ostali ne razlikuju značajno na razini $P \leq 0,05$. Na istoj lokaciji u 2011. godini statistički značajno veću

koncentraciju Mn u listu je imao hibrid OSSK 552 ($217 \text{ mg Mn kg}^{-1}$) što je i najveća ostvarena vrijednost u istraživanju, dok je najmanju koncentraciju imao hibrid OS 430 (96 mg Mn kg^{-1}), iako se nije statistički razlikovao od četiri hibrida.

Tablica 22. Srednje vrijednosti koncentracije Mn (mg kg^{-1}) u listu kod 10 hibrida kukuruza po lokalitetima i godinama istraživanja s odgovarajućim vrijednostima najmanje značajne razlike (LSD) na razini $P \leq 0,05$

Okolina/ hibrid	Osijek		Prosje Osijek	Podgorač		Prosje Podgorač	Prosje hibrida
	2010.	2011.		2010.	2011.		
Drava404	64 b	55 b	60 b	109 b	121 bcd	115 cd	87 bc
OS430	54 bcd	46 bcd	50 c	107 b	96 d	102 d	76 c
OSSK444	85 a	69 a	77 a	152 a	135 bcd	144 b	110 a
OS499	57 bc	43 cd	50 c	116 b	157 b	136 bc	93 b
OSSK515	54 bcd	54 b	54 bc	79 c	158 b	119 cd	87 bc
OS5717	45 cd	50 bc	48 cd	86 c	156 b	121 bcd	84 bc
OSSK552	51 cd	43 cd	47 cd	122 b	217 a	170 a	108 a
OSSK596	43 de	40 d	41 de	119 b	142 bcd	130 bc	86 bc
OSSK602	54 bcd	41 cd	47 cd	123 b	106 cd	114 cd	81 bc
OSSK617	32 e	37 d	34 e	120 b	144 bc	132 bc	83 bc
Prosje okoline	54 a	48 b	51 b	114 b	143 a	128 a	90
LSD _{0,05}	13	11	7	17	47	24	14

Srednje vrijednosti unutar kolona označene istim slovom se značajno ne razlikuju na razini $P \leq 0,05$

Prosječna koncentracija mangana u suhoj tvari lista ispod klipa za sve hibride, lokacije i godine istraživanja je iznosila 90 mg Mn kg^{-1} uz značajna variranja. Kao hibrid s najvećom prosječnom koncentracijom Mn u listu u cjelokupnom istraživanju istaknuo se OSSK 444 ($110 \text{ mg Mn kg}^{-1}$) jer je u čak tri okoline kontinuirano imao najveće vrijednosti. Na istoj razini značajnosti je bio i hibrid OSSK 552. Najnižu koncentraciju je imao hibrid OS 430 (76 mg Mn kg^{-1}) premda se nije značajno razlikovao od čak šest hibrida u istraživanju.

4. 3. 3. Koncentracija cinka u listu ispod klipa

Pojedinačne analize varijance su pokazale statistički značajan utjecaj ($P \leq 0,05$) hibrida kukuruza na lokalitetu Osijek, odnosno vrlo značajan utjecaj ($P \leq 0,01$) na lokalitetu Podgorač u obje ispitivane godine (Tablica 23.). Samo na lokaciji Osijek u 2011. godini su svi učinci bili statistički opravdani.

Tablica 23. Značajnost F testa za koncentracije Zn (mg kg^{-1}) u listu kukuruza ispod klipa po godinama i lokalitetima

Izvor variranja	Stupnjevi slobode	2010.		2011.	
		Osijek	Podgorač	Osijek	Podgorač
Hibrid (H)	9	*	**	*	**
Ponavljanje (R)	2	ns	ns	**	ns
Ukupno (Model)	11	*	**	**	**

** značajno na razini $P = 0,01$; * značajno na razini $P = 0,05$; ns (not significant) nije značajno

Vrlo veliku značajnost u istraživanju su ostvarili svi glavni čimbenici koncentracije Zn u suhoj tvari lista kukuruza ispod klipa, kao i interakcije hibrid x lokacija (HL) te hibrid x godina (HG). Interakcija lokacija x godina te interakcija sva tri glavna čimbenika nisu bili statistički značajni. Najveći utjecaj ponovno je imala lokacija (Tablica 24.).

Tablica 24. Analiza varijance, F-vrijednosti i signifikantnost učinaka hibrida, lokacije i godine te njihovih interakcija na koncentraciju Zn u listu kroz dvije godine na dvije lokacije

Izvor variranja	Stupnjevi slobode	Varijanca	F vrijednosti
Hibrid (H)	9	387,4	24,4 **
Lokacija (L)	1	13 887,8	873,3 **
Godina (G)	1	375,0	23,6 **
HL	9	204,2	12,8 **
HG	9	75,8	4,8 **
LG	1	1,32	0,08 ns
HLG	9	37,9	2,4 ns

** značajno na razini $P = 0,01$; * značajno na razini $P = 0,05$; ns (not significant) nije značajno

Najveća prosječna vrijednost koncentracije cinka u listu je postignuta na lokalitetu Podgorač u 2011. godini ($38,5 \text{ mg Zn kg}^{-1}$), a najmanja na lokalitetu Osijek u 2010. godini ($13,4 \text{ mg Zn kg}^{-1}$). Općenito, u Osijeku je u prosjeku postignuta manja koncentracija cinka u suhoj tvari lista kukuruza ispod klipa u odnosu na lokaciju Podgorač (Tablica 25.) koja je imala i

veću varijabilnost između hibrida. Također, tijekom obje godine istraživanja je utvrđena veća koncentracija cinka u Podgoraču u usporedbi s lokacijom Osijek.

Tablica 25. Srednje vrijednosti koncentracije Zn (mg kg^{-1}) u listu kod 10 hibrida kukuruza po lokalitetima i godinama istraživanja s odgovarajućim vrijednostima najmanje značajne razlike (LSD) na razini $P \leq 0,05$

Okolina/ hibrid	Osijek		Prosjeck Osijek	Podgorač		Prosjeck Podgorač	Prosjeck hibrida
	2010.	2011.		2010.	2011.		
Drava404	11,1 c	13,6 cd	12,4 c	22,6 e	22,0 f	22,3 e	17,3 g
OS430	12,7 bc	17,3 bcd	15,0 bc	36,1 cd	29,6 ef	32,9 d	23,9 e
OSSK444	15,7 ab	18,7 abc	17,2 ab	45,3 ab	39,3 cd	42,3 bc	29,8 bc
OS499	14,4 bc	21,2 ab	17,8 ab	32,1 d	42,9 bc	37,5 cd	27,7 cd
OSSK515	14,5 abc	16,0 bcd	15,3 bc	21,0 e	32,4 de	26,7 e	21,0 ef
OS5717	10,9 c	14,2 dc	12,5 c	24,9 e	29,3 ef	27,1 e	19,8 fg
OSSK552	12,4 bc	23,6 a	18,0 ab	41,5 abc	50,9 ab	46,2 ab	32,1 ab
OSSK596	18,4 a	19,7 abc	19,1 a	48,0 a	52,8 a	50,4 a	34,7 a
OSSK602	13,7 bc	12,3 d	13,0 c	39,6 bc	32,1 de	35,9 d	24,4 de
OSSK617	10,6 c	15,0 bcd	12,8 c	40,2 bc	53,3 a	46,8 ab	29,8 bc
Prosjeck okoline	13,4 b	17,2 a	15,3 b	35,1 b	38,5 a	36,8 a	26,1
LSD _{0,05}	4,0	6,3	3,5	7,1	8,8	4,9	3,4

Srednje vrijednosti unutar kolona označene istim slovom se ne razlikuju značajno na razini $P \leq 0,05$

Najveću prosječnu koncentraciju cinka u suhoj tvari lista kukuruza ispod klipa u Osijeku u 2010. godini je imao hibrid OSSK 596 ($18,4 \text{ mg Zn kg}^{-1}$), a najmanju OSSK 617 ($10,6 \text{ mg Zn kg}^{-1}$). Na istoj lokaciji u drugoj godini istraživanja značajno najveću koncentraciju je imao hibrid OSSK 552 ($23,6 \text{ mg Zn kg}^{-1}$), a najmanju OSSK 602 ($12,3 \text{ mg Zn kg}^{-1}$).

U Podgoraču 2010. godine najveću prosječnu vrijednost koncentracije cinka u listu je ostvario isti hibrid kao i na lokaciji Osijek (OSSK 596), premda s većom ostvarenom vrijednosti ($48,0 \text{ mg Zn kg}^{-1}$) dok je OSSK 515 imao najmanju koncentraciju od $21,0 \text{ mg Zn kg}^{-1}$. U 2011. godini na istoj lokaciji se ističu tri hibrida sa značajno većim vrijednostima (OSSK 617, OSSK 596 i OSSK 552), dok je kod hibrida Drava 404 utvrđena najmanja koncentracija cinka u listu ($22,0 \text{ mg Zn kg}^{-1}$).

Zanimljivo je istaknuti kako je hibrid OSSK 617 imao najveću i najmanju koncentraciju Zn u istraživanju. Na lokaciji Osijek u 2010. godini kod tog hibrida je utvrđeno samo 10,6 mg Zn kg⁻¹ dok je na lokaciji Podgorač u 2011. godini imao najveću koncentraciju od 53,3 mg Zn kg⁻¹, što predstavlja najveće variranje koncentracija Zn u provedenom istraživanju.

Prosječna koncentracija cinka u listu ispod klipa za sve lokacije i godine u ovom istraživanju je iznosila 26,1 mg Zn kg⁻¹ uz značajnu varijabilnost između hibrida. U prosjeku je najveću vrijednosti postigao hibrid OSSK 596 premda se nije statistički značajno razlikovao od OSSK 552, dok je najmanju vrijednost imao hibrid Drava 404, ali se nije statistički razlikovao od hibrida OS 5717.

4. 3. 4. Koncentracija bakra u listu ispod klipa

Pojedinačnim analizama varijance i F-testom utvrđen je vrlo značajan utjecaj hibrida na koncentraciju Cu u listu kukuruza ispod klipa u svim okolinama osim na lokalitetu Osijek u 2011. godine gdje je utjecaj hibrida bio značajan (Tablica 26.).

Tablica 26. Značajnost F testa za koncentracije Cu (mg kg⁻¹) u listu kukuruza ispod klipa po godinama i lokalitetima

Izvor variranja	Stupnjevi slobode	2010.		2011.	
		Osijek	Podgorač	Osijek	Podgorač
Hibrid (H)	9	**	**	*	**
Ponavljanje (R)	2	ns	ns	ns	ns
Ukupno (Model)	11	**	**	*	**

** značajno na razini P = 0,01; * značajno na razini P = 0,05; ns (not significant) nije značajno

Učinak hibrida, lokacije i godine u tročimbeničnoj analizi varijance za istraživano svojstvo koncentracije bakra u listu kukuruza ispod klipa je bilo visokosignifikantno, pri čemu je najveći utjecaj imala lokacija te interakcija lokacija x godina (Tablica 27.). Također, vrlo značajan učinak su pokazale sve moguće dvočimbenične interakcije.

Tablica 27. Analiza varijance, F-vrijednosti i signifikantnost učinaka hibrida, lokacije i godine te njihovih interakcija na koncentraciju Cu u listu kroz dvije godine na dvije lokacije

Izvor variranja	Stupnjevi slobode	Varijanca	F vrijednosti
Hibrid (H)	9	26,8	20,1 **
Lokacija (L)	1	106,1	79,4 **
Godina (G)	1	23,8	17,8 **
HL	9	37,3	27,9 **
HG	9	25,9	19,4 **
LG	1	51,7	38,7 **
HLG	9	12,3	9,2 **

** značajno na razini $P = 0,05$; * značajno na razini $P = 0,01$; ns (not significant) nije značajno

Općenito, na lokaciji Podgorač je postignuta prosječno veća vrijednost koncentracije bakra u suhoj tvari lista ($8,8 \text{ mg Cu kg}^{-1}$) u usporedbi sa lokacijom Osijek ($6,9 \text{ mg Cu kg}^{-1}$). Najveću prosječnu koncentraciju bakra u listu kukuruza ispod klipa imali su hibridi na lokaciji Podgorač u 2011. godini, a najnižu u Osijeku iste godine (Tablica 28.). U 2010. godini u Podgoraču je ponovno zabilježena veća prosječna vrijednost bakra u listu uz manju razliku koncentracije u usporedbi s lokalitetom Osijek.

Općenito, najveću koncentraciju bakra u listu imao je hibrid OS 430 ($18,9 \text{ mg Cu kg}^{-1}$) na lokaciji Osijek u 2010. godini, a najmanju OSSK 602 ($4,4 \text{ mg Cu kg}^{-1}$) na lokaciji Osijek, ali u 2011. godini što predstavlja razliku od 77 %.

U Osijeku u 2010. godini samo je hibrid OS 430 imao značajno veću vrijednost koncentracije bakra, dok su svi ostali bili na istoj razini značajnosti pri čemu je najmanju koncentraciju imao OSSK 515. U drugoj godini istraživanja čak pet hibrida je imalo značajno veću koncentraciju bakra u suhoj tvari lista (Drava 404, OS 430, OSSK 444, OS 499 i OSSK 552) dok su OSSK 596 i OSSK 602 imali najmanje koncentracije bakra ($4,5 \text{ mg Cu kg}^{-1}$ i $4,4 \text{ mg Cu kg}^{-1}$).

U Podgoraču 2010. godine najveću prosječnu koncentraciju bakra je ostvario OSSK 617 ($9,0 \text{ mg Cu kg}^{-1}$), a najmanju hibrid OSSK 515 ($5,4 \text{ mg Cu kg}^{-1}$) kao i na lokalitetu Osijek. U 2011. godini na istoj lokaciji značajno najveću koncentraciju bakra je postigao hibrid OSSK 552 od čak $17,8 \text{ mg Cu kg}^{-1}$ dok je najmanju vrijednosti imao isti hibrid kao i na lokalitetu Osijek (OSSK 602, $6,5 \text{ mg Cu kg}^{-1}$).

Tablica 28. Srednje vrijednosti koncentracije Cu (mg kg^{-1}) u listu kod 10 hibrida kukuruza po lokalitetima i godinama istraživanja s odgovarajućim vrijednostima najmanje značajne razlike (LSD) na razini $P \leq 0,05$

Okolina/ hibrid	Osijek		Prosjek	Podgorač		Prosjek	Prosjek
	2010.	2011.	Osijek	2010.	2011.	Podgorač	hibrida
Drava404	5,8 b	7,8 ab	6,8 cd	7,1 c	7,1 cd	7,1 e	6,9 def
OS430	18,9 a	9,1 a	14,0 a	7,8 bc	7,0 cd	7,4 cde	10,7 a
OSSK444	7,0 b	9,4 a	8,2 b	8,6 ab	7,4 cd	8,0 cde	8,1 bc
OS499	6,6 b	7,4 ab	7,0 bc	7,7 bc	12,5 b	10,1 b	8,6 b
OSSK515	4,9 b	5,9 bc	5,4 e	5,4 d	10,0 bc	7,7 cde	6,6 ef
OS5717	5,2 b	5,8 bc	5,5 de	7,1 c	12,5 b	9,8 b	7,6 bcd
OSSK552	6,0 b	7,7 ab	6,9 bc	8,7 ab	17,8 a	13,3 a	10,1 a
OSSK596	6,1 b	4,5 c	5,3 e	7,8 bc	9,6 bc	8,7 bcd	7,0 def
OSSK602	5,4 b	4,4 c	4,9 e	8,1 abc	6,5 d	7,3 de	6,1 f
OSSK617	5,7 b	5,3 bc	5,5 de	9,0 a	8,8 cd	8,9 bc	7,2 cde
Prosjek okoline	7,2 a	6,7 b	6,9 b	7,7 b	9,9 a	8,8 a	7,9
LSD _{0,05}	3,1	2,8	1,4	1,2	3,1	1,5	1,0

Srednje vrijednosti unutar kolona označene istim slovom se ne razlikuju značajno na razini $P \leq 0,05$

U odnosu na prethodne mikroelemente, koncentracija bakra u suhoj tvari lista ispod klipa na svim lokacijama i godinama istraživanja je bila najniža pri čemu je prosječno postignuta vrijednost iznosila $7,9 \text{ mg Cu kg}^{-1}$. Najveću vrijednost je ostvario hibrid OS 430 ($10,7 \text{ mg Cu kg}^{-1}$), a najnižu koncentraciju na istoj razini značajnosti su imali četiri hibrida različitih FAO skupina (OSSK 602, OSSK 515, Drava 404 i OSSK 596).

4. 4. Koncentracija mikroelemenata u zrnu kukuruza

4. 4. 1. Koncentracija željeza u zrnu kukuruza

Na temelju pojedinačnih analiza varijance i F-testa utvrđen je visoko značajan učinak hibrida u 2010. godini na obje lokacije odnosno 2011. na lokalitetu Podgorač. U istoj godini na lokalitetu Osijek niti jedan učinak nije bio signifikantan (Tablica 29.).

Tablica 29. Značajnost F testa za koncentracije Fe (mg kg⁻¹) u zrnu kukuruza po godinama i lokalitetima

Izvor variranja	Stupnjevi slobode	2010.		2011.	
		Osijek	Podgorač	Osijek	Podgorač
Hibrid (H)	9	**	**	ns	**
Ponavljjanje (R)	2	ns	ns	ns	ns
Ukupno (Model)	11	*	**	ns	**

** značajno na razini P = 0,01; * značajno na razini P = 0,05; ns (not significant) nije značajno

Tročimbenična analiza varijance i F vrijednosti su pokazale vrlo značajan utjecaj hibrida, godine te interakcije hibrid x lokacija na koncentraciju željeza u suhoj tvari zrna kukuruza (Tablica 30.). Svi ostali glavni čimbenici i njihove interakcije u provedenom istraživanju nisu bili statistički opravdani.

Tablica 30. Analiza varijance, F-vrijednosti i signifikantnost učinaka hibrida, lokacije i godine te njihovih interakcija na koncentraciju Fe u zrnu kroz dvije godine na dvije lokacije

Izvor variranja	Stupnjevi slobode	Varijanca	F vrijednosti
Hibrid (H)	9	106,3	9,35 **
Lokacija (L)	1	1,53	0,14 ns
Godina (G)	1	1240,7	109,1 **
HL	9	60,9	5,36 **
HG	9	22,6	1,98 ns
LG	1	0,001	0,00 ns
HLG	9	15,1	1,33 ns

** značajno na razini P = 0,05; * značajno na razini P = 0,01; ns (not significant) nije značajno

U prosjeku veća koncentracija željeza u zrnu kukuruza je ostvarena na lokaciji Osijek, ali uz izuzetno malu razliku u usporedbi s prosječnom koncentracijom na lokalitetu Podgorač od

svega 0,2 mg Fe kg⁻¹ (Tablica 31.). Najveća prosječna vrijednost koncentracije je utvrđena na lokaciji Osijek 2010. godine (24,3 mg Fe kg⁻¹), a najmanja u Podgoraču tijekom 2011. godine (17,6 mg Fe kg⁻¹). Općenito, hibridi ranije vegetacije su u Podgoraču u prosjeku ostvarili nešto veće vrijednosti u odnosu na hibride kasnije FAO skupine. U pogledu prosječne koncentracije Fe u suhoj tvar zrna kukuruza veći utjecaj je imala godina.

Općenito, najveća i najmanja koncentracija željeza u zrnu u istraživanju je zabilježena na lokaciji Podgorač. Tako je 2010. godine hibrid Drava 404 imao najveću vrijednost koncentracije (36,4 mg Fe kg⁻¹), a 2011. godine hibrid OSSK 602 najmanju vrijednost koncentracije željeza od svega 9,8 mg Fe kg⁻¹.

Tablica 31. Srednje vrijednosti koncentracije Fe (mg kg⁻¹) u zrnu kod 10 hibrida kukuruza po lokalitetima i godinama istraživanja s odgovarajućim vrijednostima najmanje značajne razlike (LSD) na razini P≤0,05

Okolina/ hibrid	Osijek		Prosjek Osijek	Podgorač		Prosjek Podgorač	Prosjek hibrida
	2010.	2011.		2010.	2011.		
Drava404	29,8 a	14,2	22,0 ab	36,4 a	29,6 a	33,0 a	27,5 a
OS430	24,8 bc	13,4	19,1 bc	24,8 bc	17,0 bc	20,9 bc	20,0 c
OSSK444	25,7 b	22,1	23,9 a	27,8 b	22,4 b	25,1 b	24,5 b
OS499	25,1 b	16,8	21,0 abc	22,2 c	18,9 bc	20,5 bc	20,7 c
OSSK515	23,3 bc	17,3	20,3 bc	22,8 bc	17,8 bc	20,3 bcd	20,3 c
OS5717	23,2 bc	21,7	22,4 ab	20,6 c	15,1 cd	17,8 cd	20,1 c
OSSK552	21,4 c	20,8	21,1 abc	20,4 c	14,9 cd	17,7 cd	19,4 cd
OSSK596	23,2 bc	19,6	21,4 abc	21,2 c	14,4 cd	17,8 cd	19,6 cd
OSSK602	22,3 bc	14,4	18,4 c	20,5 c	9,8 d	15,1 d	16,7 d
OSSK617	23,8 bc	17,9	20,8 abc	23,6 b,c	16,1 bcd	19,8 cd	20,3 c
Prosjek okoline	24,3 a	17,8 b	21,0 a	24,0 a	17,6 b	20,8 a	20,9
LSD _{0,05}	3,5	--	3,5	5,2	6,9	5,3	2,9

Srednje vrijednosti unutar kolona označene istim slovom se ne razlikuju značajno na razini P≤0,05

U Osijeku 2010. godine svi hibridi su imali ostvarenu vrijednost koncentracije željeza iznad 20,0 mg Fe kg⁻¹ uz variranje od 29,8 mg Fe kg⁻¹ (Drava 404) do 21,4 mg Fe kg⁻¹ (OSSK 552). U 2011. godini istraživanja hibridi su općenito ostvarili niže vrijednosti koncentracije

pri čemu je OSSK 444 postigao najveću, a hibrid OS 430 najmanju koncentraciju željeza u zrnu.

U Podgoraču 2010. godine isti hibridi su postigli najveću odnosno najmanju vrijednost koncentracije željeza u zrnu kukuruza kao na lokaciji Osijek. U 2011. godini Drava 404 je imala ponovno najveću koncentraciju željeza (29,6 mg Fe kg⁻¹) dok je OSSK 602 ostvario svega 9,8 mg Fe kg⁻¹.

Ukupna prosječna koncentracija željeza u zrnu kukuruza postignuta u dvogodišnjem istraživanju na dvije lokacije sa svojim specifičnostima je iznosila 20,9 mg Fe kg⁻¹ uz određenu varijabilnost u pogledu navedenog svojstva. Statistički značajno najvišu koncentraciju u cijelom istraživanju je postigao hibrid Drava 404 (27,5 mg Fe kg⁻¹), a najmanju OSSK 602 (16,7 mg Fe kg⁻¹) premda se nije statistički razlikovao od hibrida OSSK 552 i OSSK 596 (Tablica 31.).

4. 4. 2. Koncentracija mangana u zrnu kukuruza

Vrlo značajan, odnosno značajan učinak hibrida na temelju pojedinačne analize varijance i F-testa je ostvaren u sve četiri ispitivane okoline (Tablica 32.) za koncentraciju Mn u suhoj tvari zrna kukuruza.

Tablica 32. Značajnost F testa za koncentracije Mn (mg kg⁻¹) u zrnu kukuruza po godinama i lokalitetima

Izvor variranja	Stupnjevi slobode	2010.		2011.	
		Osijek	Podgorač	Osijek	Podgorač
Hibrid (H)	9	**	**	*	**
Ponavljanje (R)	2	ns	ns	ns	ns
Ukupno (Model)	11	**	**	*	**

** značajno na razini P = 0,01; * značajno na razini P = 0,05; ns (not significant) nije značajno

Učinak hibrida, lokacije i godine je bio vrlo značajan na temelju provedene tročimbenične analize varijance i F-testa za koncentraciju mangana u zrnu kukuruza. Također, sve interakcije su bile visokosignifikantne osim interakcije hibrid x lokacija gdje je utjecaj bio na razini značajnosti 95 %. Najveći utjecaj imali su godina i interakcija lokacija x godina (Tablica 33.).

Tablica 33. Analiza varijance, F-vrijednosti i signifikantnost učinaka hibrida, lokacije i godine te njihovih interakcija na koncentraciju Fe u zrnu kroz dvije godine na dvije lokacije

Izvor variranja	Stupnjevi slobode	Varijanca	F vrijednosti
Hibrid (H)	9	3,70	38,7 **
Lokacija (L)	1	2,89	30,2 **
Godina (G)	1	14,50	151,4 **
HL	9	0,28	2,9 *
HG	9	0,55	5,8 **
LG	1	11,30	118,0 **
HLG	9	0,55	5,8 **

** značajno na razini $P = 0,05$; * značajno na razini $P = 0,01$; ns (not significant) nije značajno

U prosjeku veća koncentracija mangana u suhoj tvari zrna kukuruza je ostvarena na lokaciji Podgorač u usporedbi s lokalitetom Osijek.

Tablica 34. Srednje vrijednosti koncentracije Mn (mg kg^{-1}) u zrnu kod 10 hibrida kukuruza po lokalitetima i godinama istraživanja s odgovarajućim vrijednostima najmanje značajne razlike (LSD) na razini $P \leq 0,05$

Okolina/ hibrid	Osijek		Prosje Osijek	Podgorač		Prosje Podgorač	Prosje hibrida
	2010.	2011.		2010.	2011.		
Drava404	3,93 c	3,83 de	3,88 e	4,00 cd	5,00 de	4,50 de	4,19 d
OS430	5,13 a	4,27 bcde	4,70 bc	4,20 c	5,95 abc	5,07 bc	4,89 b
OSSK444	4,73 ab	5,04 ab	4,89 ab	4,67 b	6,51 a	5,59 a	5,24 a
OS499	4,33 bc	4,66 abc	4,50 bcd	3,93 cd	6,44 ab	5,19 abc	4,84 b
OSSK515	5,23 a	4,54 abcd	4,89 ab	4,20 c	5,59 bcd	4,89 bcd	4,89 b
OS5717	4,40 bc	4,13 cde	4,27 cde	3,77 d	4,74 de	4,25 e	4,26 d
OSSK552	3,80 c	4,79 abc	4,30 cde	4,00 cd	5,55 cd	4,78 cd	4,54 c
OSSK596	3,07 d	3,65 e	3,36 f	3,10 e	4,17 e	3,64 f	3,50 e
OSSK602	5,27 a	5,27 a	5,27 a	5,10 a	5,44 cd	5,27 ab	5,27 a
OSSK617	3,90 c	4,43 bcde	4,17 de	3,80 d	4,47 e	4,14 e	4,15 d
Prosje okoline	4,38 a	4,46 a	4,42 b	4,08 b	5,39 a	4,73 a	4,58
LSD _{0,05}	0,7	0,8	0,5	0,3	0,9	0,5	0,3

Srednje vrijednosti unutar kolona označene istim slovom se ne razlikuju značajno na razini $P \leq 0,05$

Najveća koncentracija je postignuta 2011. godine na lokaciji Podgorač ($5,4 \text{ mg Mn kg}^{-1}$), a najmanja na istoj lokaciji 2010. godine ($4,1 \text{ mg Mn kg}^{-1}$). Općenito, razlike u koncentracijama između okolina su bile relativno male uz izuzetak Podgorača u 2011. godini. Zanimljivo je istaknuti kako su hibridi OSSK 515, OS 5717 i OSSK 602 na obje lokacije ostvarili identične prosječne koncentracije mangana u zrnu kukuruza (Tablica 34.).

Općenito, variranje koncentracije mangana u zrnu kukuruza je bilo izuzetno veliko i kretalo se od $3,1 \text{ mg Mn kg}^{-1}$ koliko je ostvario hibrid OSSK 596 tijekom 2010. godine na obje lokacije do $6,5 \text{ mg Mn kg}^{-1}$ koliko je postigao OSSK 444 tijekom 2011. godine na lokaciji Podgorač.

U 2010. godini na lokalitetu Osijek najveću prosječnu vrijednost koncentracije mangana u zrnu je imao hibrid OSSK 602 ($5,3 \text{ mg Mn kg}^{-1}$), a najmanju OSSK 596 ($3,1 \text{ mg Mn kg}^{-1}$). U drugoj godini istraživanja isti hibridi imaju najveću odnosno najmanju koncentraciju mangana u zrnu kukuruza uz veliku varijabilnosti između hibrida.

Na lokalitetu Podgorač u 2010. godini također su identični hibridi postigli najveće i najmanje prosječne koncentracije, dok je u 2011. godini najveću koncentraciju imao hibrid OSSK 444, a najmanju OSSK 596.

Hibrid OSSK 596 je imao i ukupno statistički značajno najmanju koncentraciju mangana u suhoj tvari zrna kukuruza od $3,5 \text{ mg Mn kg}^{-1}$, dok je hibrid OSSK 602 imao signifikantno najveći prosjek od $5,3 \text{ mg Mn kg}^{-1}$ uz prosječno ostvarenu vrijednost koncentracije mangana svih hibrida $4,6 \text{ mg Mn kg}^{-1}$.

4. 4. 3. Koncentracija cinka u zrnu kukuruza

Sve četiri istraživane okoline su vrlo značajno odnosno značajno utjecale na koncentraciju cinka u suhoj tvari zrna kukuruza. Općenito, na obje lokacije u 2011. godini svi učinci su bili statistički opravdani (Tablica 35.).

Tablica 35. Značajnost F testa za koncentracije Zn (mg kg^{-1}) u zrnu kukuruza po godinama i lokalitetima

Izvor variranja	Stupnjevi slobode	2010.		2011.	
		Osijek	Podgorač	Osijek	Podgorač
Hibrid (H)	9	**	**	**	*
Ponavljjanje (R)	2	ns	ns	**	*
Ukupno (Model)	11	**	**	**	**

** značajno na razini $P = 0,01$; * značajno na razini $P = 0,05$; ns (not significant) nije značajno

Učinak hibrida, lokacije i godine na istraživano svojstvo je bio visokosignifikantan, pri čemu je najveći utjecaj imala godina i lokacija (Tablica 36.). Također, vrlo značajan učinak su pokazale sve interakcije (HL, HG i LG) dok interakcija tri glavna čimbenika nije bila statistički značajna.

Tablica 36. Analiza varijance, F-vrijednosti i signifikantnost učinaka hibrida, lokacije i godine te njihovih interakcija na koncentraciju Zn u zrnu kroz dvije godine na dvije lokacije

Izvor variranja	Stupnjevi slobode	Varijanca	F vrijednosti
Hibrid (H)	9	23,4	16,5 **
Lokacija (L)	1	164,8	116,4 **
Godina (G)	1	317,2	224,0 **
HL	9	6,97	4,9 **
HG	9	5,64	4,0 **
LG	1	174,8	123,5 **
HLG	9	2,32	1,6 ns

** značajno na razini $P = 0,05$; * značajno na razini $P = 0,01$; ns (not significant) nije značajno

U prosjeku veća koncentracija cinka u zrnu kukuruza je utvrđena na lokaciji Podgorač u usporedbi s lokacijom Osijek. Međutim, najveća vrijednost je postignuta u Osijeku 2010. godine, iako s vrlo malom razlikom u usporedbi s lokacijom Podgorač iste godine. Veće prosječne razlike između lokaliteta su utvrđene u 2011. godini u korist lokacije Podgorač. Također, na obje lokacije hibridi Drava 404 i OS 5717 su imali vrlo slične vrijednosti koncentracije cinka (Tablica 37.).

Općenito, variranja između hibrida u istraživanju su bila izuzetno velika. Tako je hibrid OS 430 na lokaciji Osijek u 2010. godini imao koncentraciju od čak $22,6 \text{ mg Zn kg}^{-1}$ u usporedbi

s hibridom OSSK 602 koji je na istoj lokaciji ali u 2011. godini ostvario koncentraciju od samo 11,3 mg kg⁻¹ što je dvostruko manje.

U Osijeku 2010. godine najveću koncentraciju Zn u zrnu kukuruza je imao hibrid OS 430 (22,6 mg Zn kg⁻¹), a najmanju OSSK 552 (16,3 mg Zn kg⁻¹), dok je u 2011. godini Drava 404 postigla najveću (17,0 mg Zn kg⁻¹), a OSSK 602 (11,3 mg Zn kg⁻¹) najmanju prosječnu koncentraciju Zn u suhoj tvari zrna.

U Podgoraču 2010. godine OSSK 444 se ističe kao hibrid sa značajno većom koncentracijom cinka (22,3 mg Zn kg⁻¹), dok je OS 499 ostvario signifikantno najmanju vrijednost koncentracije cinka (16,4 mg Zn kg⁻¹). I u drugoj godini istraživanja isti hibrid ima najveću, a OSSK 602 najmanju koncentraciju cinka.

Tablica 37. Srednje vrijednosti koncentracije Zn (mg kg⁻¹) u zrnu kod 10 hibrida kukuruza po lokalitetima i godinama istraživanja s odgovarajućim vrijednostima najmanje značajne razlike (LSD) na razini P≤0,05

Okolina/ hibrid	Osijek		Prosje Osijek	Podgorač		Prosje Podgorač	Prosje hibrida
	2010.	2011.		2010.	2011.		
Drava404	20,5 ab	17,0 a	18,8 a	19,2 bcd	18,0 bcde	18,6 cd	18,7 a
OS430	22,6 a	14,5 b	18,5 ab	19,9 bc	19,2 abcd	19,5 bc	19,0 a
OSSK444	20,4 abc	14,1 bc	17,3 abc	22,3 a	20,8 a	21,6 a	19,4 a
OS499	17,2 de	13,2 bcd	15,2 de	16,4 f	19,3 abc	17,8 de	16,5 de
OSSK515	20,1 bc	12,8 bcd	16,4 cd	19,2 bcd	18,6 abcde	18,9 bcd	17,7 bc
OS5717	20,5 abc	14,2 bc	17,4 abc	18,3 cde	16,7 de	17,5 de	17,4 cd
OSSK552	16,3 e	12,2 cd	14,3 e	17,2 ef	16,6 e	16,9 e	15,6 e
OSSK596	16,6 e	11,6 d	14,1 e	17,8 def	17,2 cde	17,5 de	15,8 e
OSSK602	18,1 cde	11,3 d	14,7 e	20,3 b	16,3 e	18,3 cde	16,5 de
OSSK617	19,6 bcd	14,4 b	17,0 bc	20,4 b	20,3 ab	20,4 ab	18,7 ab
Prosje okoline	19,2 a	13,5 b	16,4 b	19,1 a	18,3 b	18,7 a	17,5
LSD _{0,05}	2,4	2,1	1,6	1,8	2,6	1,5	1,0

Srednje vrijednosti unutar kolona označene istim slovom se ne razlikuju značajno na razini P≤0,05

Postignuta prosječna koncentracija cinka u suhoj tvari zrna kukuruza za sve hibride, godine i lokacije istraživanja je iznosila 17,5 mg Zn kg⁻¹. Najveću vrijednost je postigao hibrid OSSK 444 (19,4 mg Zn kg⁻¹) iako je bio na istoj razini opravdanosti kao i OS 430, Drava 404 i OSSK 617. Istodobno hibrid OSSK 552 je imao najnižu koncentraciju (15,6 mg Zn kg⁻¹) ali se nije statistički razlikovao od OSSK 596 te OS 499 i OSSK 602 koji su imali istu koncentraciju (16,5 mg kg⁻¹). Općenito, najveću ostvarenu vrijednost su postigla prva tri hibrida ranijeg dozrijevanja te hibrid OSSK 617 dok su istodobno najmanje koncentracije ostvarili hibridi kasnije vegetacije i OS 499.

4. 4. 4. Koncentracija bakra u zrnu kukuruza

Pojedinačnim analizama varijance i F-testom utvrđeni je vrlo značajan utjecaj hibrida na obje lokacije u obje ispitivane godine (Tablica 38.). U 2011. godini na obje lokacije svi učinci su bili visokosignifikantni odnosno signifikantni na razini 95 %.

Tablica 38. Značajnost F testa za koncentracije Cu (mg kg⁻¹) u zrnu kukuruza po godinama i lokalitetima

Izvor variranja	Stupnjevi slobode	2010.		2011.	
		Osijek	Podgorač	Osijek	Podgorač
Hibrid (H)	9	**	**	**	**
Ponavljanje (R)	2	ns	ns	*	*
Ukupno (Model)	11	**	**	**	**

** značajno na razini P = 0,01; * značajno na razini P = 0,05; ns (not significant) nije značajno

Na temelju analize varijance i F-vrijednosti utvrđen je vrlo značajan utjecaj hibrida i lokacije kao glavnih čimbenika te svih interakcija u istraživanju (HL, HG, LG i HLG). Jedino utjecaj godine (G) nije bio statistički opravdan (Tablica 39.).

Tijekom istraživanja su ostvarena značajna variranja u pogledu koncentracije bakra u zrnu kukuruza. U cijelom istraživanju najmanju vrijednost je ostvario hibrid OS 5717 (0,92 mg Cu kg⁻¹) u 2011. godini na lokaciji Podgorač, dok je najveću vrijednost na istoj lokaciji postigao OSSK 444 (3,33 mg Cu kg⁻¹) ali 2010. godine (Tablica 40.).

Tablica 39. Analiza varijance, F-vrijednosti i signifikantnost učinaka hibrida, lokacije i godine te njihovih interakcija na koncentraciju Cu u zrnu kroz dvije godine na dvije lokacije

Izvor variranja	Stupnjevi slobode	Varijanca	F vrijednosti
Hibrid (H)	9	1,72	38,3 **
Lokacija (L)	1	2,83	62,9 **
Godina (G)	1	0,005	0,11 ns
HL	9	0,30	6,6 **
HG	9	0,23	5,2 **
LG	1	0,94	20,9 **
HLG	9	0,44	9,9 **

** značajno na razini $P = 0,05$; * značajno na razini $P = 0,01$; ns (not significant) nije značajno

U Osijeku tijekom 2010. godine najveću koncentraciju je imao hibrid OSSK 444 dok je kod hibrida Drava 404 utvrđena značajno niža koncentraciju bakra. U drugoj godini istraživanja je varijabilnost između hibrida iznosila od 1,04 mg Cu kg⁻¹ (OSSK 602) do 2,15 mg Cu kg⁻¹ koliko je postigao hibrid OSSK 444.

U Podgoraču 2010. godine najveću koncentraciju je ponovno postigao hibrid OSSK 444, dok su dva hibrida imala istu najnižu vrijednost koncentracije bakra (OS 5717 i OSSK 602). Na istoj lokaciji u 2011. godini hibrid OSSK 552 je imao značajno najveću koncentraciju bakra (2,88 mg Cu kg⁻¹) dok je OS 5717 ostvario svega 0,92 mg Cu kg⁻¹ ili gotovo dvostruko manje.

Utvrđene koncentracije bakra u odnosu na prethodne mikroelemente je relativno niska i u prosjeku za sve hibride u istraživanju, obje godine i obje lokacije iznosi 1,79 mg Cu kg⁻¹. Značajno najveću koncentraciju u cjelokupnom istraživanju je postigao samo hibrid OSSK 444 (2,5 mg Cu kg⁻¹) dok je najmanju koncentraciju imao hibrid OS 5717 (1,4 mg Cu kg⁻¹) premda se nije značajno razlikovao od tri hibrida u istraživanju (Drava 404, OSSK 515 i OSSK 602).

Tablica 40. Srednje vrijednosti koncentracije Cu (mg kg^{-1}) u zrnu kod 10 hibrida kukuruza po lokalitetima i godinama istraživanja s odgovarajućim vrijednostima najmanje značajne razlike (LSD) na razini $P \leq 0,05$

Okolina/ hibrid	Osijek		Prosjek	Podgorač		Prosjek	Prosjek
	2010.	2011.	Osijek	2010.	2011.	Podgorač	hibrida
Drava404	1,30 g	1,58 c	1,44 d	1,67 bc	1,39 ef	1,53 fg	1,48 de
OS430	1,80 bcd	2,00 ab	1,90 b	2,17 b	1,94 cd	2,05 bcd	1,98 b
OSSK444	2,20 a	2,15 a	2,18 a	3,33 a	2,45 abc	2,89 a	2,53 a
OS499	1,97 b	1,84 b	1,90 b	1,90 bc	2,53 ab	2,22 bc	2,06 b
OSSK515	1,47 fg	1,09 d	1,28 e	1,50 c	1,73 de	1,62 ef	1,45 e
OS5717	1,70 de	1,43 c	1,56 c	1,40 c	0,92 f	1,16 g	1,36 e
OSSK552	1,93 bc	1,82 b	1,88 b	1,87 bc	2,88 a	2,38 b	2,13 b
OSSK596	1,60 ef	1,10 d	1,35 de	1,67 bc	2,19 bcd	1,93 cde	1,64 cd
OSSK602	1,43 fg	1,04 d	1,24 e	1,40 c	2,03 bcd	1,72 def	1,48 de
OSSK617	1,77 cde	1,48 c	1,62 c	1,57 c	2,30 bc	1,94 cde	1,78 c
Prosjek okoline	1,72 a	1,55 b	1,63 b	1,85 b	2,04 a	1,94 a	1,79
LSD _{0,05}	0,2	0,2	0,1	0,5	0,5	0,4	0,2

Srednje vrijednosti unutar kolona označene istim slovom se ne razlikuju značajno na razini $P \leq 0,05$

4. 5. Sadržaj proteina, ulja i škroba u zrnu kukuruza

4. 5. 1. Sadržaj proteina u zrnu

Vrlo značajan učinak hibrida na sadržaj proteina u zrnu kukuruza je utvrđen u svim ispitivanim okolinama pomoću pojedinačnih analiza varijance i F-testa. U 2011. godini na lokalitetu Osijek svi učinci su bili visokosignifikantni (Tablica 41.).

Tablica 41. Značajnost F testa za sadržaj proteina (%) u zrnu kukuruza po godinama i lokalitetima

Izvor variranja	Stupnjevi slobode	2010.		2011.	
		Osijek	Podgorač	Osijek	Podgorač
Hibrid (H)	9	**	**	**	**
Ponavljanje (R)	2	ns	ns	**	ns
Ukupno (Model)	11	**	**	**	**

** značajno na razini $P = 0,01$; * značajno na razini $P = 0,05$; ns (not significant) nije značajno

Tablica 42. Analiza varijance, F-vrijednosti i signifikantnost učinaka hibrida, lokacije i godine te njihovih interakcija na sadržaj proteina u zrnu kroz dvije godine na dvije lokacije

Izvor variranja	Stupnjevi slobode	Varijanca	F vrijednosti
Hibrid (H)	9	2,56	33,8 **
Lokacija (L)	1	0,64	8,4 **
Godina (G)	1	14,3	189,4 **
HL	9	0,31	4,1 **
HG	9	0,21	2,7 *
LG	1	6,93	91,5 **
HLG	9	0,37	4,91 **

** značajno na razini $P = 0,05$; * značajno na razini $P = 0,01$; ns (not significant) nije značajno

Svi glavni čimbenici (hibrid, lokacija i godina) u tročimbeničnoj analizi varijance te njihove interakcije su bili vrlo značajni odnosno značajni za sadržaj proteina u zrnu. Najveći utjecaj je imala godina te interakcija lokacija x godina (Tablica 42.).

Najveći sadržaj proteina u zrnu utvrđen je na lokaciji Podgorač u 2011. godini (8,32 %), a najmanji u 2010. godini na istoj lokaciji (7,31 %). Međutim, u prosjeku su veće vrijednosti sadržaja proteina zabilježene na lokaciji Osijek uz nešto manje izraženu varijabilnosti između godina (Tablica 43.).

Općenito, u istraživanju je utvrđeno značajno variranje sadržaja proteina u zrnu. Najveću vrijednost je postigao OSSK 444 (9,40 %) na lokaciji Podgorač 2011. godine, dok je statistički najmanji sadržaj imao hibrid OSSK 596 (6,55 %) na istoj lokaciji ali 2010. godine.

Na lokaciji Osijek u 2010. godini najveći sadržaj proteina ostvario je OS 430 (8,38 %), a najmanji OS 499 (7,48 %). U drugoj godini istraživanja OSSK 444 je imao najveći sadržaj proteina (8,85 %), a OSSK 552 najmanji sadržaj proteina u zrnu (7,50 %).

Na lokaciji Podgorač u 2010. godini pojedinačnim analizama varijance utvrđena je veća varijabilnost između hibrida uz variranje od 8,30 % (OSSK 444) do 6,55 % (OSSK 596). Na istoj lokaciji u 2011. godini najveći sadržaj proteina je imao hibrid OSSK 444, a najmanji OSSK 596, odnosno isti hibridi kao i u prethodnoj godini.

Tablica 43. Srednje vrijednosti sadržaja proteina (%) u zrnu kod 10 hibrida kukuruza po lokalitetima i godinama istraživanja s odgovarajućim vrijednostima najmanje značajne razlike (LSD) na razini $P \leq 0,05$

Okolina/ hibrid	Osijek		Prosje Osijek	Podgorač		Prosje Podgorač	Prosje hibrida
	2010.	2011.		2010.	2011.		
Drava404	8,00 abc	7,78 bc	7,88 b	7,08 cde	8,15 bcd	7,61 d	7,74 de
OS430	8,38 a	8,75 a	8,56 a	8,20 a	8,53 bc	8,37 b	8,46 b
OSSK444	8,20 ab	8,85 a	8,53 a	8,30 a	9,40 a	8,85 a	8,69 a
OS499	7,48 d	7,60 bc	7,54 c	7,03 cde	8,08 cd	7,55 d	7,54 fg
OSSK515	7,60 cd	8,08 b	7,84 b	7,30 bcd	7,95 d	7,63 d	7,73 def
OS5717	8,18 ab	7,90 bc	8,04 b	7,38 bc	8,68 b	8,03 c	8,03 c
OSSK552	7,53 cd	7,50 c	7,51 c	6,80 ef	8,53 bc	7,66 d	7,59 efg
OSSK596	7,75 bcd	7,98 bc	7,86 b	6,55 f	7,75 d	7,15 e	7,51 g
OSSK602	7,83 bcd	7,93 bc	7,88 b	7,58 b	7,93 d	7,75 cd	7,81 d
OSSK617	7,60 cd	7,98 bc	7,79 bc	6,88 def	8,25 bcd	7,56 d	7,68 defg
Prosje okoline	7,85 a	8,03 b	7,94 a	7,31 b	8,32 a	7,82 b	7,88
LSD _{0,05}	0,45	0,48	0,29	0,47	0,54	0,33	0,20

Srednje vrijednosti unutar kolona označene istim slovom se ne razlikuju značajno na razini $P \leq 0,05$

Prosječno ostvaren sadržaj proteina u zrnu kukuruza za sve ispitivane hibride tijekom istraživanja na dvije lokacije i dvije godine je iznosio 7,88 %. Hibridi OSSK 444 i OS 430 su imali značajno najveće vrijednosti, a OSSK 596 najmanju vrijednost sadržaja proteina u zrnu iako se nije značajno razlikovao od tri hibrida različitog vremena dozrijevanja (OS 499, OSSK 552 i OSSK 617).

4. 5. 2. Sadržaj ulja u zrnu

Na sadržaj ulja u zrnu su vrlo značajno utjecale obje ispitivane godine i lokacije na temelju pojedinačnih analiza varijance i F-testa (Tablica 44.). U svim okolinama osim u Podgoraču 2011. godine su svi učinci bili visokosignifikantni.

Tablica 44. Značajnost F testa za sadržaj ulja (%) u zrnu kukuruza po godinama i lokalitetima

Izvor variranja	Stupnjevi slobode	2010.		2011.	
		Osijek	Podgorač	Osijek	Podgorač
Hibrid (H)	9	**	**	**	**
Ponavljjanje (R)	2	**	**	*	ns
Ukupno (Model)	11	**	**	**	**

** značajno na razini $P = 0,01$; * značajno na razini $P = 0,05$; ns (not significant) nije značajno

Analiza varijance i F-vrijednosti su pokazale vrlo značajan utjecaj hibrida i lokacije te svih interakcija, osim interakcije hibrid x lokacija x godina gdje je utjecaj bio značajan (Tablica 45.). Izuzetak u istraživanju je bila godina koja nije utjecala na sadržaj ulja u zrnu kukuruza pri čemu je prosječna vrijednost u 2010. godini iznosila 3,44 %, odnosno 3,45 % u 2011. godini.

U prosjeku veća vrijednost sadržaja ulja je postignuta na lokaciji Osijek u usporedbi s lokacijom Podgorač (Tablica 46.). U 2011. godini na lokaciji Osijek je utvrđena najveća vrijednosti (3,81 %) dok je iste godine na lokaciji Podgorač zabilježen najmanji sadržaj ulja od 3,09 %.

Tablica 45. Analiza varijance, F-vrijednosti i signifikantnost učinaka hibrida, lokacije i godine te njihovih interakcija na sadržaj ulja u zrnu kroz dvije godine na dvije lokacije

Izvor variranja	Stupnjevi slobode	Varijanca	F vrijednosti
Hibrid (H)	9	0,83	57,8 **
Lokacija (L)	1	8,37	582,2 **
Godina (G)	1	0,002	0,16 ns
HL	9	0,12	8,47 **
HG	9	0,06	4,42 **
LG	1	2,60	180,9 **
HLG	9	0,03	2,40 *

** značajno na razini $P = 0,05$; * značajno na razini $P = 0,01$; ns (not significant) nije značajno

U cijelom istraživanju sadržaj ulja je varirao između genotipova ovisno o lokaciji i godini. Općenito, najveći sadržaj je ostvario hibrid OS 430 (4,33 %) na lokaciji Osijek u 2011. godini, dok je značajno najmanju vrijednost imao hibrid OSSK 602 (2,80 %) u istoj godini ali u Podgoraču.

U Osijeku 2010. godine najveći sadržaj ulja su postigla prva dva hibrida u istraživanju, Drava 404 i OS 430 (3,85 %) dok je OSSK 602 imao najmanji sadržaj ulja (3,18 %). U drugoj godini istraživanja isti hibridi su postigli najveći, odnosno najmanji sadržaj ulja.

Na lokaciji Podgorač u obje godine hibridi Drava 404 i OS 430 su imali najveći sadržaj ulja u znu kukuruza dok je najmanji sadržaj postigao OSSK 444 u 2010. godini, odnosno OSSK 602 u 2011. godini.

Prosječno ostvaren sadržaj ulja u znu kukuruza za obje lokacije i godine ispitivanja kao i sve hibride u istraživanju je iznosio 3,45 %. Najveći sadržaj u svim okolinama je imao OS 430 (3,81 %) iako se nije statistički značajno razlikovao od hibrida Drava 404. Najmanji sadržaj ulja je imao hibrid OSSK 602 (3,15 %) premda sa istom statističkom značajnošću kao i hibridi OSSK 444 i OSSK 552.

Tablica 46. Srednje vrijednosti sadržaja ulja (%) u znu kod 10 hibrida kukuruza po lokalitetima i godinama istraživanja s odgovarajućim vrijednostima najmanje značajne razlike (LSD) na razini $P \leq 0,05$

Okolina/ hibrid	Osijek		Prosje Osijek	Podgorač		Prosje Podgorač	Prosje hibrida
	2010.	2011.		2010.	2011.		
Drava404	3,85 a	4,23 ab	4,04 a	3,48 ab	3,43 a	3,45 a	3,74 ab
OS430	3,85 a	4,33 a	4,09 a	3,65 a	3,40 a	3,53 a	3,81 a
OSSK444	3,33 c	3,55 ef	3,44 d	3,05 e	2,90 cde	2,98 e	3,21 ef
OS499	3,60 b	3,83 d	3,71 c	3,43 bc	2,98 cd	3,20 bc	3,46 c
OSSK515	3,73 ab	4,08 bc	3,90 b	3,38 bcd	3,45 a	3,41 a	3,66 b
OS5717	3,83 a	3,93 cd	3,88 b	3,20 de	3,03 c	3,11 cd	3,49 c
OSSK552	3,40 c	3,60 e	3,50 d	3,28 cd	2,83 de	3,05 de	3,28 def
OSSK596	3,33 c	3,55 ef	3,44 d	3,35 bcd	3,23 b	3,29 b	3,36 cd
OSSK602	3,18 d	3,38 f	3,28 e	3,25 cd	2,80 e	3,03 de	3,15 f
OSSK617	3,35 c	3,60 e	3,48 d	3,35 bcd	2,90 cde	3,13 cd	3,30 de
Prosje okoline	3,54 a	3,81 a	3,67 a	3,34 b	3,09 b	3,22 b	3,45
LSD _{0,05}	0,15	0,20	0,12	0,19	0,18	0,12	0,15

Srednje vrijednosti unutar kolona označene istim slovom se ne razlikuju značajno na razini $P \leq 0,05$

4. 5. 3. Sadržaj škroba u zrnu

Pojedinačnim analizama varijance i F-testom utvrđen je vrlo značajan utjecaj hibrida na sadržaj škroba u zrnu u svim okolinama osim u Osijeku 2010. godine gdje je utjecaj bio na razini značajnosti od 95 % (Tablica 47.).

Tablica 47. Značajnost F testa za sadržaj škroba (%) u zrnu kukuruza po godinama i lokalitetima

Izvor variranja	Stupnjevi slobode	2010.		2011.	
		Osijek	Podgorač	Osijek	Podgorač
Hibrid (H)	9	*	**	**	**
Ponavljjanje (R)	2	ns	ns	ns	ns
Ukupno (Model)	11	*	**	**	**

** značajno na razini $P = 0,01$; * značajno na razini $P = 0,05$; ns (not significant) nije značajno

U tročimbeničnoj analizi varijance za istraživano svojstvo samo je učinak hibrida bio visokosignifikantan te interakcije hibrid x lokacija i lokacija x godina. Ostali glavni čimbenici (lokacija i godina) kao i interakcije HG i HLG nisu bili statistički opravdani.

Tablica 48. Analiza varijance, F-vrijednosti i signifikantnost učinaka hibrida, lokacije i godine te njihovih interakcija na sadržaj škroba u zrnu kroz dvije godine na dvije lokacije

Izvor variranja	Stupnjevi slobode	Varijanica	F vrijednosti
Hibrid (H)	9	2,13	9,80 **
Lokacija (L)	1	0,26	1,22 ns
Godina (G)	1	0,02	0,10 ns
HL	9	0,78	3,58 **
HG	9	0,43	1,97 ns
LG	1	9,46	43,6 **
HLG	9	0,37	1,68 ns

** značajno na razini $P = 0,05$; * značajno na razini $P = 0,01$; ns (not significant) nije značajno

U prosjeku na obje lokacije su utvrđene približno iste vrijednosti sadržaj škroba u zrnu kukuruza. Najveći sadržaj je postignut u Osijeku 2011. godine (73,3 %), a najmanji na lokaciji Podgorač iste godine (Tablica 49.).

Najmanji sadržaj škroba je utvrđen kod hibrida OSSK 444 (71,6 %) u Podgoraču 2011. godine u usporedbi s postignutom vrijednosti kod hibrida OSSK 552 (74,0 %) ostvarenom iste godine ali na lokaciji Osijek.

U 2010. godini u Osijeku najveći sadržaj škroba je imao hibrid OSSK 552 (73,4 %), a najmanji OS 430 (72,4 %) uz ostvarenu razliku od 1,0 %. I u drugoj godini također su isti hibridi ostvarili najveće odnosno najmanje vrijednosti sadržaj škroba.

U Podgoraču 2010. godine ponovno hibrid OSSK 552 postiže najveći sadržaj škroba (73,9 %), dok najmanji sadržaj ostvaruje OSSK 602 (72,3 %). Na istoj lokaciji 2011. godine hibrid OS 499 imao je najveći (73,7 %), odnosno hibrid OSSK 444 najmanji sadržaj škroba u istraživanju (71,6 %).

Tablica 49. Srednje vrijednosti sadržaja škroba (%) u znu kod 10 hibrida kukuruza po lokalitetima i godinama istraživanja s odgovarajućim vrijednostima najmanje značajne razlike (LSD) na razini $P \leq 0,05$

Okolina/ hibrid	Osijek		Prosjek Osijek	Podgorač		Prosjek Podgorač	Prosjek hibrida
	2010.	2011.		2010.	2011.		
Drava404	72,6 bcd	73,2 cd	72,9 de	73,6 abc	73,2 abc	73,4 ab	73,1 b
OS430	72,4 d	72,5 e	72,4 f	72,6 de	72,8 abc	72,7 cd	72,5 e
OSSK444	72,9 bcd	73,2 cd	73,0 cde	73,2 bc	71,6 d	72,4 d	72,7 cde
OS499	73,0 abc	73,9 ab	73,4 ab	73,8 ab	73,7 a	73,7 a	73,6 a
OSSK515	72,7 bcd	72,9 de	72,8 e	73,1 cd	73,3 ab	73,2 abc	73,0 bcd
OS5717	72,5 cd	73,3 cd	73,0 cde	73,1 cd	72,3 bcd	72,7 cd	72,8 bcde
OSSK552	73,4 a	74,0 a	73,7 a	73,9 a	73,4 a	73,6 ab	73,6 a
OSSK596	73,1 ab	73,3 cd	73,2 bc	73,3 abc	72,2 cd	72,7 cd	73,0 bcd
OSSK602	72,7 bcd	73,4 bc	73,1 cde	72,3 e	72,3 bcd	72,3 d	72,7 de
OSSK617	72,8 bcd	73,5 abc	73,2 bcd	73,3 abc	72,8 abc	73,1 bc	73,1 bc
Prosjek okoline	72,8 b	73,3 a	73,1 a	73,2 a	72,7 b	73,0 a	73,0
LSD _{0,05}	0,49	0,48	0,29	0,61	0,99	0,61	0,40

Srednje vrijednosti unutar kolona označene istim slovom se ne razlikuju značajno na razini $P \leq 0,05$

Prosječan sadržaj škroba u zrnu kukuruza za sve ispitivane hibride, na obje lokacije i obje godine istraživanja je iznosio 73,0 % uz određena variranja između hibrida. Statistički značajno najveće vrijednosti su postigla dva hibrida OS 499 i OSSK 552 s jednakim sadržajem škroba u zrnu kukuruza (73,6 %). Najmanju vrijednost je imao hibrid OS 430 (72,5 %) iako se nije značajno razlikovao od hibrida OSSK 444, OS 5717 i hibrida kasnije vegetacije OSSK 602 (Tablica 49.).

4. 6. Korelacije između istraživanih svojstava

U provedenom istraživanju na temelju srednjih vrijednosti obje godine utvrđen je određen broj statistički značajnih korelacija između prinosa zrna, koncentracije mikroelemenata u listu i zrnu kao i sadržaja proteina, ulja i škroba (Tablica 50.). Prinos zrna kukuruza je bio u vrlo značajnim i značajnim korelacijama s gotovo svim svojstvima u istraživanju uz izuzetak Fe u zrnu i sadržaja proteina. Najjača pozitivna korelacija prinosa je bila sa sadržajem ulja u zrnu ($r = 0,721^{**}$) i koncentracijom Fe u listu dok su korelacije negativnog smjera bile više zastupljene, pri čemu je najjača negativna veza utvrđena između prinosa zrna i koncentracije Mn u listu ($r = -0,823^{**}$) što je ujedno i najveća korelacija negativnog smjera između svih svojstava.

Utvrđene su vrlo značajne ($P \leq 0,01$) veze između koncentracije mikroelemenata u listu pozitivnog i negativnog smjera. Najjaču pozitivnu vezu u cijelom istraživanju je imala korelacija Mn i Zn ($r = 0,859^{**}$), zatim Mn i Cu te Zn i Cu. Vrlo značajan utjecaj je imala i korelacija Fe i Zn u listu, ali negativnog smjera. Također, korelacije između mikroelemenata u zrnu su bile vrlo značajne samo za Fe i Zn s najjačom pozitivnom vezom ($r = 0,470^{**}$) dok su korelacije između Mn i Cu te Zn i Cu bile samo značajne ($P \leq 0,05$). Zanimljivo je istaknuti kako su između koncentracija Fe, Mn i Cu u listu i zrnu utvrđene značajne, odnosno vrlo značajne korelacije pozitivnog smjera, dok korelacija koncentracija Zn u listu i zrnu nije bila statistički opravdana.

Sadržaj proteina u zrnu je bio u pozitivnoj korelaciji samo s koncentracijom Mn u zrnu, dok je sadržaj škroba bio u pozitivnoj korelaciji s prinosom te negativnoj korelaciji s koncentracijom Zn u zrnu i sadržajem proteina.

Tablica 50. Koeficijenti korelacija (Pearson) za prinos zrna, koncentracije Fe, Mn, Zn i Cu u listu i zrnu te sadržaj proteina, škroba i ulja u zrnu deset hibrida kukuruza za sve lokacije i godine istraživanja (n = 40)

	Prinos zrna	Fe	U listu			U zrnu			Cu	Proteini	Ulje
			Mn	Zn	Cu	Fe	Mn	Zn			
Prinos zrna	1										
Fe-L [#]	0,35*	1									
Mn-L	-0,82**	-0,21 ^{ns}	1								
Zn-L	-0,70**	-0,44**	0,86**	1							
Cu-L	-0,41**	0,17 ^{ns}	0,57**	0,43**	1						
Fe-Z	0,09 ^{ns}	0,38*	-0,08 ^{ns}	-0,22 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	1					
Mn-Z	-0,40**	-0,13*	0,35*	0,17 ^{ns}	0,32*	-0,22 ^{ns}	1				
Zn-Z	-0,50**	0,11 ^{ns}	0,39*	0,26 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,47**	0,15 ^{ns}	1			
Cu-Z	-0,35*	-0,04 ^{ns}	0,50**	0,54**	0,41**	0,01 ^{ns}	0,32*	0,36*	1		
Proteini	-0,16 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,11 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	0,28 ^{ns}	-0,21 ^{ns}	0,59**	0,04 ^{ns}	0,29 ^{ns}	1	
Ulje	0,72**	0,42**	-0,67**	-0,64**	-0,21 ^{ns}	0,09 ^{ns}	-0,34*	-0,28 ^{ns}	-0,39*	-0,04 ^{ns}	1
Škrob	0,32*	0,08 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	0,10 ^{ns}	-0,26 ^{ns}	-0,44**	-0,02 ^{ns}	-0,53**	0,10 ^{ns}

** značajno na razini od 99 %; * značajno na razini od 95%; ns (not significant) nije značajno

[#] Fe-L, Mn-L, Zn-L, Cu-L – koncentracije u listu, Fe-Z, Mn-Z, Zn-Z, Cu-Z koncentracije u zrnu

5. RASPRAVA

5. 1. Prinos i vlaga zrna

Glavni cilj proizvodnje kukuruza je postizanje visokih i stabilnih prinosa uz što bolju kvalitetu zrna. Međutim, vrlo često su upravo prinosi i kvaliteta zrna kukuruza ograničeni djelovanjem vanjskih (agroekoloških) čimbenika.

Na visinu prinosa kao glavni razlog oplemenjivanja i uzgoja kukuruza utječu dva najveća čimbenika (Borojević, 1971.). To su genotip, odnosno ukupno nasljeđe jedinke i okoliš koji omogućuje više ili manje povoljne uvjete za ekspresiju određenog genotipa. Međutim, vrlo značajno na prinos i kvalitetu zrna kukuruza kao krajnji rezultat čovjekovog rada utječe i njihova međusobna interakcija. Drugim riječima, ako postoji genotip koji ima visok potencijal rodnosti u nepovoljnim uvjetima neće ostvariti svoje mogućnosti. S druge strane, ako ne postoji nasljedna osnova za razvoj nekog svojstva, ono se neće razviti bez obzira kako povoljni uvjeti okoliša bili. Chen i sur. (2014.) navode kako je u posljednjih 40 godina oplemenjivanjem kukuruza povećan prinos zrna, a jedan od mogućih razloga je duže zadržavanje zelenih, fotosintetski aktivnih listova na stabljici čime se povećava i produžava akumulacija hraniva u zrno.

Prinosi kukuruza u Republici Hrvatskoj jako variraju između godina. U razdoblju od 1985. godine do 2009. godine variranje prinosa kukuruza je bilo od 3,9 t ha⁻¹ do 8,0 t ha⁻¹ (Rastija i sur., 2012.). Autori ističu kako su najveći razlozi variranja okolišni čimbenici pri čemu vremenske prilike, naročito količina oborina i temperaturni režim imaju značajan utjecaj na prinose kukuruza. Do sličnih zapažanja su došli i mnogi drugi autori (Kovačević, 2008.; Kovačević i sur., 2010.; Markulj i sur., 2010.; Jelić i sur., 2009.; Maklenović i sur., 2009.; Paunović i sur., 2010.). Kovačević i sur. (2013.) navode variranje prinosa kukuruza i u nekim susjednim državama za razdoblje od 2006. do 2010. godine. U Mađarskoj je ono iznosilo od 3,6 t ha⁻¹ do 7,5 t ha⁻¹, u Srbiji od 3,2 t ha⁻¹ do 5,9 t ha⁻¹, u Hrvatskoj od 4,9 t ha⁻¹ do 8,0 t ha⁻¹ te Bosni i Hercegovini od 3,2 t ha⁻¹ do 5,1 t ha⁻¹.

Općenito, autori navode kako primjena uobičajene agrotehnike, dobra gnojidba i kalcizacija na kiselim tlima te sjetva tolerantnih hibrida na sušu u optimalnim rokovima mogu ublažiti negativne utjecaje na prinose kukuruza. Na temelju dugogodišnjeg stacioniranog pokusa

Stojić i sur. (2012.) navode prosječne prinose kukuruza po godinama od 12,78 t ha⁻¹ (2004.), 10,73 t ha⁻¹ (2006.), 11,37 t ha⁻¹ (2008.), 9,78 t ha⁻¹ (2009.) i 8,34 t ha⁻¹ (2011.). Autori zaključuju kako meliorativna primjena fosfornih i kalijevih gnojiva značajno utječe na povećanje prinosa kukuruza od 7 % do 16 %. Marković i sur. (2012.) ističu kako je navodnjavanje neophodna i opravdana agrotehnička mjera koja minimalizira nedostatak vode naročito tijekom kritičnih faza razvoja i osigurava visoke prinose kukuruza. Potreba kukuruza za vodom ovisi prvenstveno o fazi razvoja, ali i mnogi drugi čimbenici poput vremenskih prilika, plodnosti tla, intenziteta fotosinteze, svojstva hibrida i drugo mogu također utjecati na usvajanje i potrošnju vode. Maksimović (1999.) navodi kako za visoke prinose kukuruza treba oko 64 mm vode u svibnju, 106 mm u lipnju, 121 mm u srpnju, 124 mm u kolovozu i 63 mm vode u rujnu, dok hibridi kasnije vegetacije malu količinu vode zahtijevaju i u listopadu. Kovačević i sur. (2007) ističu vrlo jaku vezu ($r=0,9$) između prinosa kukuruza i indeksa aridnosti (AI) za razdoblje 1996.-2003. godine. Visoke vrijednosti indeksa aridnosti u 2000. i 2003. godini su u skladu s niskim prinosima kukuruza. Autori indeks smatraju vrlo korisnim „alatom“ za opisivanje vrlo velikih fluktuacija prinosa kukuruza. Osim kukuruza, nepovoljni klimatski uvjeti negativno utječu i na prinose drugih ratarskih kultura (Kovačević i Kaučić, 2014.; Iljkić i sur., 2014.).

U provedenom istraživanju također su uočena variranja prinosa po godinama, lokacijama, odnosno ispitivanim hibridima. Prosječno ostvaren prinos u dvogodišnjem istraživanju na dvije lokacije odnosno u četiri okoline je iznosio 8,61 t ha⁻¹. U prosjeku na lokaciji Osijek je zabilježen značajno veći prinos zrna kukuruza (10,43 t ha⁻¹) u usporedbi s lokacijom Podgorač (6,79 t ha⁻¹). Također, prosječno veći prinos zrna na obje lokacije je utvrđen u 2010. godini premda su razlike bile manje izražene.

Na lokaciji Osijek u 2010. godini prosječan prinos je iznosio 9,57 t ha⁻¹ u usporedbi s lokacijom Podgorač u istoj godini (8,08 t ha⁻¹). Razlog nešto nižih prosječnih prinosa u Podgoraču može biti smanjena plodnost, odnosno izražena kiselost tla. Također, nešto veća jalovost biljaka (17,4 %) u usporedbi s lokacijom Osijek (7,7 %) je razlog nižih prinosa u Podgoraču. Kovačević (2004.) također navodi kako su razlike prinosa u istoj godini na različitim područjima rezultat razlika u plodnosti tla. S obzirom na izuzetno visok genetski potencijal kukuruza (25,0 t ha⁻¹) i vegetacijsku sezonu s iznadprosječnim količinama oborina tijekom 2010. godine u ovom istraživanju ostvareni prosječni prinosi su mogli biti i viši.

Međutim, kukuruz je nešto osjetljiviji na suvišak vode u ranim fazama porasta. Tijekom svibnja u Osijeku je palo dvostruko više oborina od promatranog višegodišnjeg prosjeka, dok je u Našicama količina bila još i veća što ne ide u prilog normalnom razvoju biljke kukuruza.

Prinos kukuruza na lokaciji Osijek u 2011. godini je neočekivano viši ($11,28 \text{ t ha}^{-1}$) i to je ujedno najveći prosječni prinos između svih okolina. Znatno niži prinos ($5,51 \text{ t ha}^{-1}$) u Podgoraču je rezultat složenog utjecaja vremenskih prilika i nepovoljnih fizikalnih i kemijskih značajki tla. Također, ovu okolinu karakterizira i značajno veći postotak jalovih biljaka u cijelom istraživanju od čak 27,2 % u usporedbi s lokacijom Osijek (5,6 %) u istoj godini. Slične rezultate su dobili Jambrović i sur. (2001.) na temelju ispitivanja 24 hibrida kukuruza kroz dvije godine i osam lokaliteta. Prosječni prinos zrna u 1998. godini je bio nešto niži ($11,3 \text{ t ha}^{-1}$) od prinosa u 1999. godini ($12,4 \text{ t ha}^{-1}$). Također autori su utvrdili i manja variranja prinosa između pojedinih hibrida: od $9,2 \text{ t ha}^{-1}$ do $12,2 \text{ t ha}^{-1}$ (1998. godine), odnosno od $10,5 \text{ t ha}^{-1}$ do $13,9 \text{ t ha}^{-1}$ (1999. godine). Međutim, ovisno o lokalitetu, prosječni prinosi su varirali u širokom rasponu od $6,9 \text{ t ha}^{-1}$ do $14,4 \text{ t ha}^{-1}$ (1998. godine), odnosno od $9,1 \text{ t ha}^{-1}$ do $14,3 \text{ t ha}^{-1}$ (1999. godine).

Na temelju pojedinačnih analiza varijance veliku varijabilnost prinosa u provedenom istraživanju su pokazali hibridi. Najveći prinos je ostvario OS 499 ($8,92 \text{ t ha}^{-1}$) premda se nije statistički opravdao razlikovao od čak šest hibrida (Drava 404, OS 430, OSSK 515, OS 5717, OSSK 596 i OSSK 602). Najmanji prinos je postigao OSSK 552 ($8,20 \text{ t ha}^{-1}$) iako se nije značajno razlikovao od OSSK 617 i OSSK 444. Banaj i sur. (2000.) su ispitivali sedam hibrida kukuruza Poljoprivrednog instituta Osijek tijekom dvije godine na tlu ispodprosječne plodnosti i umjerene kiselosti (pH u KCl 5,17). Hibrid OSSK 617 izdvojio se u obje godine istraživanja najvećim prinosom zrna (prve godine $8,21 \text{ t ha}^{-1}$ ili 34 % iznad prosjeka; druge godine $8,71 \text{ t ha}^{-1}$ ili 22 % iznad prosjeka pokusa). Hibrid OSSK 552 pokazao se osjetljivim na stresne uvjete ovoga tla, jer je prve godine prinos zrna bio niži za 25 %, a druge za 17 % u odnosu na prosjek pokusa. Autori zaključuju da ovaj visokorodni hibrid kukuruza treba normalne uvjete tla da bi njegov visoki potencijal rodosti došao do jačega izražaja. Zdunić i sur. (2002.) su na ukupno šesnaest lokaliteta tijekom 1995. i 1996. godine utvrdili prosječni prinos zrna u pokusima od $9,81 \text{ t ha}^{-1}$ pri čemu je varirao u rasponu od $7,28 \text{ t ha}^{-1}$ do $11,18 \text{ t ha}^{-1}$. Od ukupno 24 hibrida izdvojeno je pet genotipova visokog i

stabilnog prinosa, trinaest nestabilnih genotipova te šest genotipova kojima nije precizno utvrđena pripadnost niti jednoj od navedenih skupina. Autori smatraju da se najprinosniji genotip ne mora ujedno odlikovati i stabilnim prinosom što je pokazano i u našem istraživanju jer je hibrid s najvećim postignutim prinosom (OS 499) pokazao određeno variranje između okolina. U ranijem istraživanju Zdunić i sur. (2001.) zaključuju da je moguća istovremena selekcija na visinu i stabilnost prinosa. Iljkić i sur. (2011.) navode kako je prosječni prinos 10 hibrida kukuruza u poljskom pokusu iznosio $8,41 \text{ t ha}^{-1}$ s variranjima između hibrida od $6,58 \text{ t ha}^{-1}$ do $9,86 \text{ t ha}^{-1}$. Najviši prinos ostvario je hibrid OS 499 ($9,86 \text{ t ha}^{-1}$) i OSSK 602 ($9,03 \text{ t ha}^{-1}$), a najniži prinos hibrid OS 5717 ($6,58 \text{ t ha}^{-1}$). Razlika između najvišeg i najnižeg ostvarenog prinosa je iznosila $3,28 \text{ t ha}^{-1}$ ili 33 %.

Prosječna vlaga zrna u istraživanju za sve hibride i okoline je iznosila 23,0 %. Općenito, u 2010. godini hibridi kukuruza ostvarili su veći postotak vlage što je bilo i očekivano s obzirom na značajno veću količinu oborina tijekom godine, odnosno vegetacije kukuruza za čak 63 % u usporedbi s višegodišnjim prosjekom. Tako je na lokaciji Osijek u 2010. godini prosječna vlaga iznosila 24,2 %, a na lokaciji Podgorač 28,3 %. Velike razlike između lokacija rezultat su vremena berbe kukuruza koja je u Osijeku počela gotovo 20 dana kasnije zbog organizacijskih problema.

Prosječna vlaga zrna u 2011. godini je bila očekivano značajno niža u usporedbi s prvom godinom istraživanja jer je tijekom vegetacije kukuruza palo 40 % manje oborina u usporedbi s promatranim prosjekom. Također, razlike između lokacija su posljedica vremena berbe kukuruza, a ne utjecaja lokacije kao promatranog čimbenika.

U prosjeku hibridi kraće vegetacije, odnosno nižih FAO skupina (Drava 404, OS 430 i OSSK 444) su ostvarili značajno niže vrijednosti sadržaja vlage u zrnu dok su hibridi kasnijih FAO skupina (OSSK 596, OSSK 602 i OSSK 617) postigli viši postotak vlage zrna što je bilo i očekivano s obzirom na nešto dužu vegetaciju. Međutim, hibrid OS 499 tj. najprinosniji hibrid u istraživanju je u prosjeku postigao nešto veći sadržaj vlage u usporedbi s hibridima iz svoje FAO skupine, dok je OS 5717 imao nešto niži sadržaj vlage, također u usporedbi s hibridima iz svoje FAO skupine.

5. 2. Koncentracije mikroelemenata u listu i zrnu

Mikroelementi su neophodni za život i zdravlje ljudi, životinja i biljaka. S obzirom da ih ljudi i životinje ne proizvode moraju ih unijeti u organizam putem biljaka što im daje poseban značaj. Sadržaj mineralnih elemenata u biljkama ovisi o intezitetu njihovog usvajanja i dinamike sinteze organske tvari (Kastori i Maksimović, 2008.). Prema autorima, veći intezitet usvajanja ima za posljedicu veću akumulaciju mineralnih elemenata dok povećanje sinteze organske tvari utječe na „razrjeđenje“ tj. smanjenje mineralnih elemenata u biljnom tkivu. Kukuruz, pšenica i riža su glavne žitarice u ishrani ljudi i životinja, ali vrlo često su deficitarne s jednim ili više mikroelemenata. Hemalatha i sur. (2007.) navode kako je sadržaj cinka i željeza u zrnu žitarica iznimno važan za prehranu ljudi te ističu da je najveća akumulacija Zn u zrnu sirka ($2,24 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$), zatim u prosu ($1,73 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$), pšenici ($1,62 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$), kukuruzu ($1,48 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) i riži ($1,08 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$), dok je akumulacija Fe bila najveća također u zrnu sirka ($6,51 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$), zatim slijede pšenica ($3,89 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$), kukuruz ($3,21 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$), proso ($2,13 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) i riža ($1,32 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$). Analizom 278 kultivara kukuruza prilagođenih uzgoju u tropima na šest lokaliteta u Nigeriji, Menkir (2008.) zaključuje da je prosječna koncentracija Fe u zrnu kukuruza $20,5 \text{ mg kg}^{-1}$, Zn $23,2 \text{ mg kg}^{-1}$, Mn $9,7 \text{ mg kg}^{-1}$ i Cu $1,8 \text{ mg kg}^{-1}$. U ovom istraživanju su također uočene značajne razlike koncentracije pojedinih elemenata u listu i zrnu između dvije lokacije što je uglavnom bila posljedica njihove različite pristupačnosti u tlu. Lončarić i sur. (2008.) navode kako je koncentracija pristupačnih mikroelemenata bila različita između blago kiselog (pH u KCl-u 5,93) i neutralnog tla (pH u KCl-u 7,12). Veće vrijednosti pristupačnog Fe, Zn i Cu su zabilježene na blago kiselom tlu, dok je vrijednost Mn bila vrlo slična. Rastija (2006.) je također utvrdila izrazite razlike između dva tipa tla u sadržaju biljci pristupačnih mikroelemenata. Veće koncentracije Fe, Mn i Zn su utvrđene u tlu vrlo niskog pH (pH u KCl-u 3,89), dok je tlo više pH vrijednosti (pH u KCl-u 6,2) imalo veću koncentraciju Cu. Autor također zaključuje kako je manja koncentraciju Zn zabilježena u godini s manje oborina. Andrić i sur. (2012.) su dokazali veće vrijednosti Fe i Mn u vrlo kiselom tlu (pH u KCl-u 4,75) u usporedbi s gotovo neutralnim tlom (pH u KCl-u 6,86) dok su vrijednosti koncentracije Zn i Cu bile manje izražene.

Pored lokaliteta i svojstava tla, vremenske prilike (godina) također utječu na usvajanje mikroelemenata u biljku i zrno. Na temelju trogodišnjeg istraživanja Jug i sur. (2010.) zaključuju kako su klimatske prilike u različitim godinama značajno utjecale na koncentraciju bora, željeza, mangana, molibdena i cinka u nadzemnoj biljci soje. Najveće vrijednosti B, Mn, Fe i Zn autori su dobili u godini koju karakterizira iznadprosječna količina oborina, a jedino je koncentracija Mo bila veća u godini s manje oborina dok se koncentracija Cu između godina nije značajno razlikovala.

Chen i sur. (2014.) te Hemalatha i sur. (2007.) navode kako je jedan od ciljeva oplemenjivanja kukuruza stvoriti linije i hibride koje imaju mogućnost veće akumulacije esencijalnih mikroelemenata u zrno. Općenito, niske koncentracije mikroelemenata u zrnu mogu biti bitan pokazatelj određenih poremećaja fiziološkog stanja sjemena odnosno buduće biljke, dok koncentracije u listu zajedno s kemijskom analizom tla mogu poslužiti za utvrđivanje nedostatka ili suviška hraniva.

Pojedinačnim i kombiniranim analizama varijance su utvrđeni značajni utjecaji hibrida, lokacije i godine istraživanja te njihovih interakcija na koncentraciju mikroelemenata u listu. Na koncentraciju Fe u listu najveći utjecaj je imala lokacija istraživanja, odnosno godina i ispitivani hibridi. U prosjeku značajno veća koncentracija je utvrđena na lokaciji Osijek (145 mg kg⁻¹) iako je ekstrakcijom (EDTA) utvrđena manja koncentracija biljci pristupačnog željeza (15,4 mg kg⁻¹). Na lokaciji Podgorač prosječna koncentracija Fe u listu iznosila je 116 mg kg⁻¹ premda se u tlu nalazila gotovo 8 puta veća koncentracija biljci pristupačnog željeza (119,6 mg kg⁻¹). Lemanceu i sur. (2009.) ističu kako su neke biljke sposobne mijenjati pH tla, redoks potencijal i koncentraciju kelatizirajućih tvari u tlu te time utjecati na dostupnost i primanje željeza. Bergman (1992.) navodi kako su biljke u uvjetima manje koncentracije Fe u tlu sposobne usvajati veće količine Fe zbog specifičnog mehanizma usvajanja kojima povećavaju topljivost, mobilizaciju i usvajanje Fe. U literaturi je moguće pronaći dva tipa mehanizma pod nazivom Strategija I i Strategija II (Bergman, 1992.; Marschner i Römheld, 1994.; Marschner, 1995.). Prvi način primjenjuju dikotiledoni i neke monokotiledonske vrste koje u uvjetima nedostatka željeza povećavaju izlučivanje H⁺ iona u rizosferu i povećavaju kapacitet redukcije Fe³⁺ na površini membrane stanica korijena te

usvajaju Fe^{2+} pomoću specifičnih željeznih transportera u plazmamembrani stanica korijena. Strategiju II primjenjuju monokotiledoni iz porodice *Poaceae* (npr. kukuruz) koji u uvjetima nedostatka željeza povećavaju sintezu i izlučivanje Fe-kelatizirajućih tvari (fitosiderofori) koje otapaju i keliraju Fe^{3+} te stvaraju Fe^{3+} -fitosiderofor komplekse koje usvaja korijen specifičnim transporterima u plazmamembrani korijenovih stanica (Römheld i Marschner, 1986). Također, biljke imaju sposobnost prilagodbe morfololoških karakteristika korijena u cilju povećanja usvajanja teško dostupnih hraniva (veća masa korijena, više korijenovih dlačica i slično). Bahat i Stepinac (2011.) na temelju istraživanja kukuruza i uljane repice u laboratorijskim uvjetima zaključuju kako nedostatak željeza smanjuje dužinu rasta korijena, ali manje utječe na površinu i volumen korijena zbog formiranja korijenovih dlačica. Nadalje, autori navode da nedostatak željeza kod kukuruza ima značajniji utjecaj na rast korijena te smanjuje omjer suhe mase nadzemnih organa i korijena, a kod uljane repice značajnije utječe na fotosintetski aparat te povećava omjer suhe mase nadzemnih organa i korijena. Popović (1987.) smatra da Mn u tlu utječe na pristupačnost Fe jer oksidira željezo u feri oblik koji je mnogo manje pokretan dok ishranu željezom remeti i visok sadržaj P i Zn. Pored utjecaja lokacije na koncentraciju Fe u listu značajan utjecaj je pokazala i godina istraživanja. U prvoj godini ovog istraživanja koju karakterizira značajno veća količina oborina utvrđeno je više Fe u listu (142 mg kg^{-1}) u usporedbi s 2011. godinom (120 mg kg^{-1}) kada je palo oko 40 % manje oborina. Slične rezultate potvrđuju Andrić i sur. (2012.). Koncentracija Fe u nadzemnoj biljci soje je bila značajno viša u godini s većom količinom oborina što Jug i sur. (2010.) objašnjavaju redukcijskim uvjetima u tlu koji reduciraju feri oblik željeza u fero koje biljka lakše usvaja. U prosjeku svih okolina genotipovi su ostvarili 131 mg kg^{-1} Fe u listu uz značajnu genetsku varijabilnost između istih što pokazuje razlika između najveće i najmanje utvrđene koncentracije od čak 67 mg kg^{-1} . Usporedbom svih hibrida ovog istraživanja može se uočiti kako između čak šest hibrida nije bilo statistički značajne razlike u pogledu koncentracije Fe u listu.

U provedenom istraživanju na koncentraciju mangana u listu su značajno utjecali svi glavni čimbenici i njihove interakcije. Prosječno je u Podgoraču utvrđena značajno veća koncentracija Mn (128 mg kg^{-1}) u usporedbi s Osijekom (51 mg kg^{-1}) premda su nešto veće vrijednosti koncentracije biljci pristupačnog mangana u tlu zabilježene na lokaciji Osijek

(83 mg kg⁻¹, odnosno 71 mg kg⁻¹, Podgorač). Bergman (1992.) ističe kako uvjeti u tlima visokog pH sprečavaju dovoljnu opskrbu Mn²⁺ zbog visokog oksidacijskog stanja mangana u takvim tlima. Autor također navodi kako koncentracija Mn varira između biljnih vrsta i lokacija više nego drugi makro i mikroelementi što potvrđuje i ovo istraživanje. Iako pH tla ima odlučujuću ulogu u usvajanju Mn i niz drugih činitelja može utjecati na pristupačnost Mn u biljci, poput koncentracije drugih kationa u tlu, kationskog izmjenjivačkog kapaciteta, temperature, organske tvari, mikrobiološke aktivnosti i redoks potencijala tla. Foy (1973.) navodi kako i struktura tla, kapacitet tla za zrak i vodu te raspoloživost vode ima određenu ulogu u opskrbi biljke manganom. Popović (1987.) smatra da je rast biljaka normalan ako je odnos između željeza i mangana u listovima 1,5-2,5 : 1. U ovom istraživanju godina je imala značajan utjecaj na koncentraciju Mn u listu kukuruza ispod klipa. U prosjeku veća vrijednost je utvrđena u godini s manje oborina (96 mg kg⁻¹) u usporedbi s 2010. godinom (84 mg kg⁻¹). Andrić i sur. (2012.) također navode kako su u povoljnijoj godini za uzgoj kukuruza (2006.) utvrđene niže vrijednosti koncentracije Mn u listu (32,5 mg kg⁻¹) u usporedbi s sušnijom godinom (2007.) kada je u listu utvrđeno dvostruko veća vrijednost koncentracije Mn (64,8 mg kg⁻¹). Drugačije rezultate su dobili Jug i sur. (2010.). Autori naime navode da su veće koncentracije mangana u biljci soje dobili u vlažnoj 2004. godini što objašnjavaju povećanjem vlažnosti tla uslijed kojeg dolazi do redukcijских uvjeta odnosno redukcije mangana do Mn²⁺ koji biljke lakše usvajaju. Međutim, Bergman (1992.) ističe kako je veza između vlage u tlu i koncentracije Mn u biljci vrlo složena jer postoje dokazi većih koncentracija i u vlažnim i u sušnim godinama. Hibridi su pokazali manju genetsku varijabilnost u pogledu koncentracije Mn u listu jer je čak šest hibrida u istraživanju imalo istu statističku značajnost. Međutim, variranje koncentracije je bilo od 76 mg kg⁻¹ (OS 430) do 110 mg kg⁻¹ (OSSK 444). Usporedbom hibrida između okolina varijabilnost je bila puno veća (32 mg kg⁻¹ do čak 217 mg kg⁻¹) što pokazuje kako neki genotipovi bolje odnosno slabije usvajaju Mn u određenim uvjetima tj. okolinama.

U provedenom istraživanju analize varijance su pokazale značajan utjecaj svih glavnih čimbenika na koncentraciju cinka u listu kukuruza pri čemu je najveći učinak imala lokacija. U prosjeku na lokaciji Podgorač je ustanovljena značajno veća koncentracija Zn (36,8 mg kg⁻¹) u odnosu na lokaciju Osijek (15,3 mg kg⁻¹). Dobra opskrba cinkom pozitivno utječe na

niz biljnih procesa kao što su fotosinteza (sinteza klorofila), metabolizam dušika (usvajanje dušika i kvaliteta proteina) te otpornost na biotske i abiotske stresne uvjete (Cakmak, 2008.). Bergmann (1992.) smatra da je usvajanje Zn pod najvećim utjecajem pH tla i koncentracije fosfata u tlu te da usvajanje opada s porastom pH vrijednosti tla što je dokazano i u ovom istraživanju. Također, prema istom autoru koncentracije Zn u listu kukuruza od 10 do 20 mg kg⁻¹ su pokazatelj akutnog nedostatka Zn što se u našem slučaju dogodilo na lokaciji Osijek dok su vrijednosti ispod 10 mg kg⁻¹ povezane s vidljivim simptomima nedostatka. Druga istraživanja međutim (Rahimi i Bussler, 1975., cit. Bergmann, 1992.) ističu kako je najveći prinos kukuruza u hidroponskom uzgoju postignut kada je koncentracija Zn u mlađem lišću iznosila od 15 do 22 mg kg⁻¹. U ovom istraživanju utvrđene razlike u pogledu koncentracije Zn u listu između godina su bile evidentne. U 2010. je prosječna vrijednost iznosila 24,3 mg kg⁻¹ u usporedbi s 2011. kada je bila 27,9 mg kg⁻¹. Do sličnih zaključaka su došli Andrić i sur. (2012.) premda su razlike između godina u njihovom istraživanju bile znatno veće (19,7 mg kg⁻¹ i 57,4 mg kg⁻¹). Xu i sur. (2013.) su utvrdili različite koncentracije Zn u stabljici između godina koje su se kretale od 31,9 mg kg⁻¹ do 37,1 mg kg⁻¹. Genotip je također imao značajan utjecaj na koncentraciju Zn u listu uz prosječno ostvarenu vrijednost od 26,1 mg kg⁻¹. Također, rezultati su pokazali značajnu genetsku varijabilnost između hibrida uz ostvarene razlike od gotovo 50 %. Najveću prosječnu vrijednost je imao hibrid OSSK 596 (34,7 mg Zn kg⁻¹), a najmanju Drava 404 (17,3 mg Zn kg⁻¹). Razlike u pogledu koncentracije Zn između genotipova su dobili Chaab i sur. (2011.). Cangiani Furlani i sur. (2005.) navode variranje koncentracije Zn između 24 komercijalna hibrida kukuruza od 28,4 mg kg⁻¹ do 41,6 mg kg⁻¹ što objašnjavaju efektom „razrjeđenja“. Autori su utvrdili značajnu negativnu korelaciju između prinosa suhe tvari i sadržaja K, P, Cu, Fe i Mn kao i visine biljke i navedenih elemenata.

Na koncentraciju bakra u provedenom istraživanju su vrlo značajan utjecaj imala sva tri glavna čimbenika kao i sve međusobne interakcije. I u ovom slučaju lokacija je imala najveći utjecaj. U Osijeku je prosječna koncentracija Cu bila niža (6,9 mg kg⁻¹) u usporedbi s lokacijom Podgorač (8,8 mg kg⁻¹), premda je analizom tla utvrđena veća pristupačnost bakra na lokaciji Osijek (6,9 mg kg⁻¹) u odnosu na Podgorač (2,6 mg kg⁻¹). Osim činjenice da bakra ima malo u otopini tla, njegova pristupačnost biljci ovisi o mnogim čimbenicima među

kojima je najvažnija pH reakcija tla i sadržaj humusa (Bergmann, 1992.; Marschner, 1995.) premda autori smatraju da ne postoji jaka korelacija između prisupačnog bakra u tlu i biljci. U ovom istraživanju koncentracija bakra je u 2010. godini bila relativno slična na obje lokacije (Osijek $7,2 \text{ mg kg}^{-1}$ i Podgorač $7,7 \text{ mg kg}^{-1}$) dok su veće razlike uočene tijekom 2011. godine. Na lokaciji Osijek prosječna vrijednost je iznosila svega $6,7 \text{ mg kg}^{-1}$ u usporedbi s lokacijom Podgorač u istoj godini od $9,9 \text{ mg kg}^{-1}$ što je ujedno i najveća prosječna postignuta vrijednost u svim okolinama. Jug i sur. (2010.) navode kako se koncentracija bakra u biljci soje tijekom tri vrlo različite klimatske godine nije značajno razlikovala što autori objašnjavaju nepovoljnim agrokemijskim svojstvima tla poput visoke pH vrijednosti tla i visokog sadržaja karbonata u tlu. Drugačije rezultate su prikazali Xu i sur. (2013.) na temelju trogodišnjih istraživanja. Autori su dobili izuzetno velika variranja koncentracije Cu u stabljici kukuruza od $3,8 \text{ mg kg}^{-1}$ do $9,9 \text{ mg kg}^{-1}$. Općenito, u ovom istraživanju je uočena značajna genetska varijabilnost u pogledu koncentracije bakra uz prosječnu vrijednost od $7,9 \text{ mg kg}^{-1}$. Variranje koncentracije se kretalo od $6,1 \text{ mg kg}^{-1}$ (OSSK 602) do $10,7 \text{ mg kg}^{-1}$ (OS 430). Popović (1987.) navodi koncentraciju bakra u suhoj tvari biljke kukuruza od $7,4 \text{ mg kg}^{-1}$.

Koncentracija mikorelemenata u zrnu kukuruza je bila pod vrlo značajnim odnosno značajnim utjecajem glavnih čimbenika (hibrid, godina, lokacija) i njihovih interakcija što potvrđuju i mnogi drugi autori (Kovačević i sur., 2004^b; Šimić i sur., 2009.; Rastija, 2006.; Bergmann, 1992.; Antunović, 2002.). Hou i sur. (2012.) navode da se hibridi kukuruza razlikuju u akumulaciji elemenata u zrnu, što pokazuju na koncentraciji N u zrnu koja se ovisno o hibridu kretala od $14,5 \text{ g kg}^{-1}$ do $19,2 \text{ g kg}^{-1}$. S obzirom da postoji kompeticija za asimilatima, razlikuju se organi koji usvajaju i stvaraju asimilate te ih pomoću ksilema i floema prenose do organa koji ih koriste odnosno nakupljaju. Kastori i Maksimović (2008.) navode da taj specifičan odnos reguliraju fitohormoni.

Na koncentraciju željeza u zrnu je vrlo značajno utjecao hibrid i godina te interakcija hibrid x lokacija dok svi ostali čimbenici nisu bili statistički opravdani. Popović (1987.) navodi da se Fe u biljci imobilizira i vrlo malo prenosi što je u skladu s ovim istraživanjem s obzirom na visoku koncentraciju Fe u listu ispod klipa i znatno nižom koncentracijom u zrnu.

Prosječno ostvarena koncentracija u cijelom istraživanju je iznosila $20,9 \text{ mg kg}^{-1}$ uz značajnije variranje između godina dok lokacija nije utjecala na usvajanje i akumulaciju željeza bez obzira što su utvrđene vrijednosti pristupačnog Fe u tlu bile izuzetno velike. Veća vrijednost koncentracije je postignuta u 2010. godini ($24,2 \text{ mg kg}^{-1}$) u usporedbi s 2011. godinom ($17,7 \text{ mg kg}^{-1}$). Bergmann (1992.) također navodi kako koncentracija željeza u biljci uzgajanoj na istom mjestu može varirati između godina ovisno o vremenskim uvjetima. Također, autor ističe da je pojava nedostatka Fe tijekom suhih razdoblja djelomično uzrokovana manjom dostupnošću Fe i slabijom difuzijom te spriječenim usvajanjem. Biljke trebaju željezo usvajati tijekom cijelog vegetacijskog razdoblja jer se ono ne premješta iz starijih u mlađe listove odnosno mobilnost Fe u biljkama je slaba. Hibridi su pokazali značajno variranje koncentracije Fe u suhoj tvari zrna kukuruza. U provedenom istraživanju samo je hibrid Drava 404 postigao značajno najveću koncentraciju od čak $27,5 \text{ mg kg}^{-1}$ te OSSK 444 ($24,5 \text{ mg kg}^{-1}$) dok su svi ostali bili na razini oko 20 mg kg^{-1} ili ispod toga. Slične rezultate su dobili Bänziger i Long (2000.) na temelju ispitivanja 1400 genotipova i 400 sorti. Autori navode kako je koncentracija Fe u zrnu varirala od $19,6 \text{ mg kg}^{-1}$ do $26,4 \text{ mg kg}^{-1}$ pri čemu su u određenim lokacijama i godinama koncentracije dosežale čak $63,2 \text{ mg Fe kg}^{-1}$. Oikeh i sur. (2003.) su na temelju 49 kasnozrelih hibrida kukuruza uzgajanih na tri lokacije utvrdili variranje koncentracije Fe u zrnu od $16,5$ do $24,6 \text{ mg kg}^{-1}$. Autori dalje zaključuju kako okolina nije značajno utjecala na koncentraciju Fe dok je interakcija genotip x okolina bila statistički vrlo značajna. Također, autori su uočili značajnu korelaciju između koncentracije Fe i Zn u zrnu što je utvrđeno i u ovom istraživanju. Ortiz-Monasterio i sur. (2007.) navode da je koncentracija Fe u zrnu kukuruza u prosjeku $20 \mu\text{g g}^{-1}$, a Šimić i sur. (2009.a) da je koncentracija Fe u zrnu prosječno $24,02 \text{ mg kg}^{-1}$.

Koncentracija mangana u zrnu kukuruza u ovom istraživanju je bila pod značajnim utjecajem svih glavnih čimbenika i njihovih interakcija pri čemu je najveći utjecaj imala godina istraživanja te interakcija godine i lokacije. Prosječno postignuta vrijednost je iznosila $4,58 \text{ mg kg}^{-1}$ uz veću vrijednost na lokaciji Podgorač ($4,73 \text{ mg kg}^{-1}$) u usporedbi s lokacijom Osijek ($4,42 \text{ mg kg}^{-1}$). Premda su koncentracije Mn u listu bile značajno veće na lokaciji Podgorač to se nije odrazilo i na veću koncentraciju Mn u zrnu. Također, značajne razlike su utvrđene između dvije godine, pri čemu je u godini s manje oborina i nešto višim

temperaturama zraka utvrđena veća koncentracija Mn, 4,93 mg kg⁻¹, dok je u vlažnijoj i hladnijoj godini vrijednost iznosila 4,23 mg kg⁻¹. Hibridi su pokazali značajnu genetsku varijabilnost u pogledu koncentracije Mn u zrnju kukuruza. Najveću vrijednost je postigao hibrid OSSK 602 (5,27 mg kg⁻¹) premda se nije značajno razlikovao od OSSK 444 (5,24 mg kg⁻¹). Statistički najmanju koncentraciju od svega 3,50 mg kg⁻¹ je imao hibrid OSSK 596.

Na koncentraciju Zn u zrnju vrlo značajno su utjecali godina, lokacija i hibrid te sve dvočimbenične interakcije dok interakcija HLG nije bila statistički opravdana. Na lokaciji Podgorač je utvrđena veća koncentracija od 18,7 mg kg⁻¹ dok je u Osijeku prosječno iznosila 16,4 mg kg⁻¹. Iako je utvrđena razlika statistički značajna ona je relativno mala ako se uzme u obzir da je koncentracija Zn u listu u Podgoraču bila više nego dvostruko veća. Razlike u pogledu koncentracije Zn na obje lokacije u 2010. godini nisu bile značajne dok su u sušnijoj godini vrijednosti bile više izražene. U 2011. godini na lokaciji Osijek je utvrđeno svega 13,5 mg kg⁻¹ u odnosu na Podgorač gdje je izmjereno 18,3 mg kg⁻¹. Kukuruz je biljka vrlo osjetljiva na nedostatak cinka i u takvim uvjetima često dolazi do pada prinosa. Općenito, Subedi i Ma (2009.) procjenjuju kako nedovoljna opskrba Zn može utjecati na smanjenje prinosa kukuruza do 10 % dok neki izvori spominju pad prinosa i do 40 % (www.zinc.org). U ovom istraživanju prosječna koncentracija Zn je iznosila 17,5 mg kg⁻¹ uz variranja od 15,6 mg kg⁻¹ (OSSK 552) do 19,4 mg kg⁻¹ (OSSK 444). Oikeh i sur. (2003.) navode variranje koncentracije Zn od 16,5 mg kg⁻¹ do 24,6 mg kg⁻¹ uz značajnu interakciju okolina x genotip. Lastienne i sur. (2005.) ističu da su koncentracije Zn i Fe u zrnju kukuruza podjednake te da koncentracija Zn iznosi 19,3 mg kg⁻¹, a Fe 19,7 mg kg⁻¹. Šimić i sur. (2009.^a) istraživanjem dvije linije kukuruza (B84 i Os6-2) u Osijeku kroz dvije godine zaključuju da je koncentracija Fe u zrnju prosječno 24,02 mg kg⁻¹ a Zn prosječno 21,71 mg kg⁻¹. Ortiz-Monasterio i sur. (2007.) navode da je koncentracija Fe u zrnju kukuruza u prosjeku 20 µg g⁻¹, dok je koncentracija Zn 15 do 35 µg g⁻¹. Manzeke i sur. (2014.) ističu kako su Zn i P antagonisti, te navode da aplikacija različitih kombinacija kompleksnih gnojiva (N, P i Zn) značajno utječe na koncentraciju Zn u zrnju kukuruza koja se kretala 15,4 do 35,4 mg kg⁻¹. Impa i sur. (2013.) na primjeru riže ističu kako do akumulacije Zn u zrno može doći uslijed neprestanog usvajanja putem korijena i/ili remobilizacijom ranije usvojenog i uskladištenog Zn u biljnom tkivu.

U ovom istraživanju analizom varijance je utvrđen vrlo značajan utjecaj hibrida i lokacije te svih interakcija na koncentraciju Cu dok učinak godine nije bio statistički opravdan. Prosječno ostvarena vrijednost je iznosila $1,79 \text{ mg kg}^{-1}$ uz značajno variranje između okolina od $1,63 \text{ mg kg}^{-1}$ (Osijek) do $1,94 \text{ mg kg}^{-1}$ (Podgorač). Vrlo značajan utjecaj su imali i hibridi uz značajno variranje između istih. Najveću koncentraciju Cu je postigao OSSK 444 ($2,53 \text{ mg kg}^{-1}$) koji je imao i najveću koncentraciju Zn u zrnu, a najmanju hibrid OS 5717 ($1,36 \text{ mg kg}^{-1}$). Bergmann (1992.) navodi kako je mobilnost Cu^{2+} između korijena i nadzemnih dijelova biljke niska i vrlo slaba te kako je Cu u uskoj vezi s metabolizmom dušika.

Pored utjecaja genotipa i okoline na usvajanje, translokaciju i akumulaciju mikroelemenata u zrnu neki autori navode kako bi primjena fortifikacije mogla značajno povećati prinos i koncentraciju mikroelemenata u zrno (Lončarić, 2011.). Fortifikacijom kukuruza cinkom ($1,0 \text{ kg ha}^{-1}$) u fazi 5 listova tijekom tri godine (2001. - 2003.) Potarzycki i Grzebisz (2009.) su ustanovili povećanje prinosa za 18 % što autori pripisuju povećanjem broja zrna po klipu i povećanjem mase 1000 zrna.

5. 3. Sadržaj proteina, ulja i škroba u zrnu kukuruza

Na temelju provedenog istraživanja tijekom dvije godine na dvije lokacije s prethodno navedenim karakteristikama i 10 komercijalnih hibrida različitih FAO skupina dobiveni su prosječni sadržaji proteina, ulja i škroba u zrnu kukuruza. Iako kukuruz općenito ima relativno nizak sadržaj proteina u odnosu na druge žitarice, ipak podmiruje određen dio potreba jer kukuruz životinje unose u većim količinama.

Ukupni prosječno utvrđen sadržaj proteina u ovom istraživanju je iznosio 7,88 % uz određeno variranje između hibrida i godina. U vlažnijoj godini (2010.) sadržaj proteina u prosjeku za sve hibride i obje lokacije je bio nešto niži (7,58 %) u odnosu na godinu s manjom količinom oborina (2011.) kada je iznosio 8,18 %. Plavšić (2012.) ispitivanjem četiri samooplodne linije kukuruza Poljoprivrednog instituta u Osijeku (Os 438-95, Os 30-8, Os 6-2 i Os 1-44) tijekom tri vegetacijske godine navodi da je prosječan sadržaj proteina u zrnu iznosio 10,44 %, te da navodnjavanje nema značajnog utjecaja na sadržaj

proteina u zrnu. U ovom istraživanju u 2010. godini je zabilježeno oko 62 % više oborina od višegodišnjeg prosjeka (1981.-2005.) uz niži sadržaj proteina. U istraživanju Josipović i sur. (2014.) navode kako je prosječan sadržaj proteina u zrnu iznosio 10,21 % uz variranje između godina od 9,61 % do 11,84 %. Autori navode kako je u sušnijim i toplim godinama sadržaj proteina u zrnu bio veći u odnosu na vlažnije godine. Grbeša (2008.) smatra da je sadržaj proteina u zrnu hibrida kukuruza prilično ujednačen ($SD < 1$ %), a do razlika dolazi zbog utjecaja genotipa, godine, gnojidbe dušikom i agrotehnike. Na temelju provedenih istraživanja tijekom pet godina s 32 hibrida kukuruza autor je utvrdio prosječnu vrijednost proteina od 8,37 %. Mayer i sur. (2012.) ispitivanjem 2 hibrida kukuruza u Argentini navode da broj biljaka po jedinici površine utječe na sadržaj proteina, ulja i škroba. Hibrid AX820 je povećanjem gustoće sklopa s 9 na 12 biljaka/m² reagirao smanjenjem sadržaja ulja (sa 59,1 na 58,1 g/kg) i proteina (sa 67,5 na 66,7 g/kg), a povećanjem sadržaja škroba (sa 721,6 na 723,7 g/kg). Drugi hibrid u istraživanju (AX877) je pozitivno reagirao na povećanje gustoće sjetve. Tako je sadržaj ulja povećan sa 58,6 na 60,2 g/kg, sadržaj proteina sa 62,2 na 70,4 g/kg i sadržaj škroba sa 721,0 na 727,0 g/kg.

Sadržaj proteina u zrnu je pod značajnim utjecajem genotipa uz određeno variranje između istih (Lorenz i sur., 2007.). U ovom istraživanju značajan utjecaj ($P \leq 0,05$) na sadržaj proteina je također imao genotip pri čemu su samo dva hibrida ranije vegetacije (OS 430 i OSSK 444) u istraživanju postigla značajno veći sadržaj proteina od čak 8,46 % i 8,69 %. Najmanji sadržaj proteina u zrnu je ostvario OSSK 596 (7,51 %) iako nije utvrđena statistički značajna razlika kod čak šest hibrida: OS 499 (7,54 %), OSSK 552 (7,59 %), OSSK 617 (7,68 %), OSSK 515 (7,73 %), Drava 404 (7,74 %) i OSSK602 (7,81 %) što znači kako je veći broj hibrida u istraživanju ostvario nešto niže vrijednosti sadržaja proteina. Na osnovi analize 16 ZP hibrida kukuruza, Stevanović i sur. (2010.) zaključuju kako je prosječna vrijednost sadržaja proteina iznosila 10,74 % uz variranja između genotipova od 9,17 (ZP846ex) do 13,01 % (ZP588ex) pri čemu autori ističu da su hibridi FAO skupine 500 ostvarili najveće vrijednosti. Do istog zaključka su došli i Drinić-Mladenović i sur. (2010.). Značajno variranje sadržaja proteina između hibrida i godina istraživanja (2010., 2011. i 2012.) navodi Marković (2013.). Autor navodi da se sadržaj proteina četiri hibrida kukuruza (OSSK 596, OSSK 617, OSSK 602 i OSSK 552) 2010. godine kretao od 7,07 % do 8,07 %, dok se 2011. godine sadržaj kretao od 7,33 % do 8,85 %. Iako su razlike u sadržaju proteina u zrnu kukuruza između hibrida i godina u ovom i

drugim navedenim istraživanjima relativno male, one nisu zanemarive jer se kukuruz kao stočna hrana koristi u velikim količinama, više od 50 % u obrocima domaćih životinja.

Prosječno utvrđen sadržaj ulja u dvogodišnjem istraživanju na dvije lokacije je iznosio 3,45 % uz određena variranja između godina, lokacija i ispitivanih genotipova. Utjecaj godine nije bio statistički opravdan ($P \leq 0,05$) jer su vrijednosti bile vrlo slične (prosjeak 3,44 % i 3,45 %, 2010. i 2011.). Nedavnim istraživanjem četiri hibrida kukuruza na Poljoprivrednom institutu u Osijeku, Marković (2013.) također navodi da godina nema statistički značajnog utjecaja na sadržaj ulja u znu kukuruza. U ovom istraživanju lokacija je imala značajan utjecaj na sadržaj ulja uz ostvarene veće vrijednosti u Osijeku (3,67 %) u usporedbi s lokacijom Podgorač (3,22 %) što može biti rezultat različitih karakteristika tla. Ispitivanjem 32 Bc hibrida tijekom pet godina Grbeša (2008.) navodi kako je dobiveni prosječni sadržaj ulja hibrida kukuruza od 3,60 % vrlo sličan prosjeku (3,70 %) koji su dobili Sauvante i sur. (2004.) na temelju 2634 analize kukuruza u Francuskoj. Grbeša (2008.) smatra da na variranje sadržaja ulja značajnije djeluje genetski čimbenik - hibrid, a manje okolišni čimbenici poput gnojide, lokacije i gustoće sklopa kukuruza. Isto potvrđuju Stevanović i sur. (2010.) uz opasku kako su hibridi FAO skupine 500 postigli prosječno najviši postotak ulja u znu. Na temelju svojih istraživanja autori su dobili prosječnu vrijednost sadržaja ulja u znu kukuruza od 4,69 % uz značajno variranje između hibrida od 4,14 % (ZP653ex) do 5,37 % (ZP708ex).

U ovom istraživanju je također utvrđen značajan utjecaj genotipa. Općenito, najveći sadržaj ulja su postigla dva hibrida kraćeg vremena dozrijevanja FAO skupine 400 dok su najmanje vrijednosti utvrđene kod različitih FAO skupina. Iako se nije statistički značajno razlikovao od hibrida Drava 404 (3,74 %), prema ovom istraživanju je OS 430 postigao najveći sadržaj ulja (3,81 %) dok je hibrid OSSK 602 postigao najmanji sadržaj ulja u znu (3,15 %), ali na istoj razini značajnosti kao i OSSK 444 (3,21 %) i OSSK 552 (3,28 %). Na temelju 15 komercijalnih hibrida kukuruza Poljoprivrednog instituta Osijek, Sudar i sur. (2012.) navode kako je sadržaj ulja varirao od 4,04 % do 5,78 %. Osim sadržaja ulja autori su analizirali sastav i količinu (%) masnih kiselina. Autori zaključuju kako se izborom hibrida s dobrim kvalitetnim svojstvima u selekciji može poboljšati kvaliteta ulja s nutritivnog i funkcionalnog stajališta. Marković (2013.) navodi da se sadržaj ulja vrlo značajno razlikovao po hibridima u sve tri godine istraživanja (2010., 2011. i 2012.) te je najveći

sadržaj ulja u vlažnoj godini imao hibrid OSSK 617, dok je u sušnim godinama najveći sadržaj ulja imao hibrid OSSK 596. Nadalje, autor navodi da je općenito najveći sadržaj ulja po hibridima ostvaren u sušnoj 2012. godini. Općenito, Hegyi (2008.) ističe da je u vlažnim godinama veća akumulacija škroba dok u toplim i sušim godina dolazi do veće akumulacije ulja i proteina. U ovom istraživanju to je bio slučaj na lokaciji Osijek 2010. godine, dok je u Podgoraču veći sadržaj ulja utvrđen u nešto vlažnijoj 2011. godini. Veće vrijednosti sadržaja ulja u zrnu kukuruza u sušoj i toplijoj godini (4,17 %, u odnosu na vlažniju i hladniju (3,50 %) su dobili i Josipović i sur. (2014.) uz prosječnu vrijednost u istraživanju od 3,80 %. Linije kukuruza također pokazuju značajno variranje sadržaja ulja u zrnu. Tako Plavšić (2012.) izdvaja liniju Os 438-95 s najvećim sadržajem ulja u zrnu kroz tri godine istraživanja koja je iznosila od 3,72 % do 4,13 %, dok su najniže prosječne vrijednosti imale linije Os 30-8 (3,20 %) i Os 6-2 (3,45 %). Isti autor dalje ističe da ovisno o vremenskim prilikama prinos zrna i sadržaj ulja može biti u pozitivnoj ili negativnoj korelaciji.

Prosječno ostvaren sadržaj škroba u provedenom dvogodišnjem istraživanju s deset komercijalnih hibrida na dvije lokacije je iznosio 73,0 % uz značajan utjecaj godine i genotipa, dok lokacije nije imala statistički opravdan utjecaj. U 2011. godini na lokaciji Osijek je utvrđen viši sadržaj škroba (73,3 %) u odnosu na 2010. godinu (72,8 %) dok je u Podgoraču tijekom prve godine istraživanja ostvaren viši sadržaj škroba (73,2 %), a manji 2011. godine (72,7 %) odnosno potpuno suprotno od lokacije Osijek. Na temelju četverogodišnjeg istraživanja Josipović i sur. (2014.) navode kako je prosječan sadržaj škroba četiri samooplodne linije kukuruza bio 70,2 % uz variranje između godina od 68,5 % do 70,9 %, pri čemu ističu kako se sušna godina izdvaja od preostale tri godine istraživanja.

U ovom istraživanju je uočen značajan utjecaj genotipa na sadržaj škroba uz variranje između hibrida što potvrđuju i druga istraživanja (Idikut i sur., 2009.). U prosjeku najveći sadržaj su postigli OS 499 i OSSK 552 od 73,6 % što je značajno više od svih preostalih hibrida u istraživanju. Hibridi većeg sadržaja škroba su imali manji sadržaj proteina, što je u skladu s drugim istraživanjima (Josipović i sur., 2014.; Stevanović, 2010.). Najmanji sadržaj škroba je ostvario hibrid OS 430 (72,5 %) iako se nije značajno razlikovao od OSSK 444, OSSK 602 i OS 5717. Grbeša (2008.) ističe kako je sadržaj škroba kod 32 hibrida kukuruza bio dosta ujednačen uz prosječan sadržaj od 63,5 % pri čemu je hibrid Bc 448

ostvario najmanji sadržaj (61,5 %), a Bc 778 najveći sadržaj škroba (65,1 %). Autor dalje navodi kako u pravilu rani hibridi sadrže nešto manje škroba od hibrida duže vegetacije. Međutim, u našem istraživanju to nije bio slučaj jer su i rani i kasni hibridi ostvarili i visoke i niske sadržaje škroba. Marković (2013.) navodi da je prosječan sadržaj škroba u trogodišnjem istraživanju iznosio 74 % uz variranje između godina od 73,0 % do 76,0 %. Autor također ističe kako je genotip imao značajan učinak na sadržaj škroba u zrnu kukuruza pri čemu su ostvarene velike razlike između hibrida. Ispitujući reakciju linija kukuruza Plavšić (2012.) navodi da je prosječan sadržaj škroba četiri samooplodne linije kukuruza u prosjeku iznosio 69,6 % te da genotip ima značajan utjecaj na sadržaj škroba u zrnu ($P < 0,05$ %) koji se kretao od 67,1 % do 72,1 %.

6. ZAKLJUČCI

Na temelju provedenih dvogodišnjih poljskih pokusa na dvije lokacije odnosno četiri okoline, kemijskih analiza tla i biljne tvari te statističke obrade podataka za svojstva prinos i vlaga zrna, koncentracije željeza, mangana, cinka i bakra u listu i zrnu kukuruza te sadržaj proteina, ulja i škroba kod deset komercijalnih hibrida Poljoprivrednog instituta Osijek moguće je zaključiti sljedeće:

Na prinos zrna kukuruza su značajno utjecali svi glavni čimbenici i njihove interakcije uz najveći utjecaj lokacije odnosno svojstva tla. Prosječno ostvaren prinos u cijelom istraživanju je iznosio $8,61 \text{ t ha}^{-1}$ uz značajno variranje između okolina. U uvjetima manje količine oborina (2011.) na pseudogleju u Podgoraču su postignuti najniži prosječni prinosi kukuruza u istraživanju od svega $5,51 \text{ t ha}^{-1}$ dok je na eutrično smeđem tlu u Osijeku iste godine prinos iznosio $11,28 \text{ t ha}^{-1}$, što je direktna posljedica plodnijeg tla više pH vrijednosti. Općenito, u cijelom istraživanju variranje prinosa između hibrida se kretalo od $8,20 \text{ t ha}^{-1}$ (OSSK 552) do $8,92 \text{ t ha}^{-1}$ (OS 499).

Također, veći prosječni prinos zrna kukuruza u 2010. godini na obje lokacije rezultat je veće količine i povoljnijeg rasporeda oborina te srednjih prosječnih temperatura zraka tijekom vegetacije kukuruza u usporedbi s 2011. godinom.

Prosječna vlaga zrna u cijelom istraživanju je iznosila 23,0 % pri čemu su hibridi kraće vegetacije imali manji sadržaj vlage i obrnuto. Također, veća vrijednost sadržaja vlage u zrnu je postignuta u 2010. godini što je bilo i očekivano s obzirom na različite vremenske prilike između ispitivanih godina.

Na koncentraciju Fe, Mn, Zn i Cu u listu kukuruza ispod klipa su statistički opravdan utjecaj imali svi glavni čimbenici i njihove interakcije uz najveći utjecaj lokacije. Izuzetak su interakcije HxL i LxG za koncentraciju Fe, odnosno interakcije LxG i HxLxG za koncentraciju Zn koje nisu bile značajne. Veće vrijednosti svih mikroelemenata su zabilježene na kiselom tlu u Podgoraču osim koncentracije Fe u listu. Prosječne koncentracije mikroelemenata u listu na lokaciji Osijek su iznosile 145 mg kg^{-1} Fe, 51 mg kg^{-1} Mn, $15,3 \text{ mg kg}^{-1}$ Zn i $6,9 \text{ mg kg}^{-1}$ Cu dok su u Podgoraču vrijednosti bile 116 mg kg^{-1} Fe, 128 mg kg^{-1} Mn, $36,8 \text{ mg kg}^{-1}$ Zn i $8,8 \text{ mg kg}^{-1}$ Cu.

Hibridi kukuruza su pokazali vrlo veliku genetsku varijabilnost u pogledu koncentracija mikroelemenata u listu u istim agroekološkim uvjetima. Tako je variranje Fe iznosilo od 97 mg kg⁻¹ do 164 mg kg⁻¹, Mn od 76 mg kg⁻¹ do 110 mg kg⁻¹, Zn od mg kg⁻¹ 17,3 do 34,7 mg kg⁻¹ i Cu od mg kg⁻¹ 6,1 do 10,7 mg kg⁻¹.

Svi glavni čimbenici su značajno utjecali na koncentraciju mikroelemenata u zrnu kukuruza uz izuzetak lokacije za koncentraciju Fe, odnosno godine za koncentraciju Cu. Također, značajan utjecaj su imale i sve interakcije osim interakcija HxG, LxG i HxLxG za koncentraciju Fe, odnosno HxLxG za koncentraciju Zn koje nisu bile statistički opravdane. Općenito, koncentracije mikroelemenata u zrnu su bile puno niže u usporedbi s koncentracijom u suhoj tvari lista kukuruza pri čemu su veće vrijednosti (osim Fe) utvrđene u Podgoraču na kiselom tlu. Na lokaciji Osijek prosječne vrijednosti su iznosile 21,0 mg kg⁻¹ Fe, 4,42 mg kg⁻¹ Mn, 16,4 mg kg⁻¹ Zn i 1,63 mg kg⁻¹ Cu, a u Podgoraču 20,8 mg kg⁻¹ Fe, 4,73 mg kg⁻¹ Mn, 18,7 mg kg⁻¹ Zn i 1,94 mg kg⁻¹ Cu.

Vrlo velika varijabilnost je utvrđena između ispitivanih genotipova u pogledu akumulacije mikroelemenata u zrno kukuruza. Ostvarene razlike za koncentraciju Fe su iznosile od 16,7 mg kg⁻¹ do 27,5 mg kg⁻¹, Mn od 3,50 mg kg⁻¹ do 5,27 mg kg⁻¹, Zn od 15,6 mg kg⁻¹ do 19,4 mg kg⁻¹ i Cu od 1,36 mg kg⁻¹ do 2,53 mg kg⁻¹.

U provedenom istraživanju posebno su se istaknuli neki hibridi zbog određenih specifičnosti. Tako je hibrid Drava 404 imao najmanju koncentraciju Zn u listu, ali značajno veću u zrnu što može značiti kako dobro translocira navedeni mikroelement. U suprotnosti, hibrid OSSK 596 je ostvario najvišu koncentraciju Zn u listu, ali najmanju koncentraciju Zn u zrnu. Također, postigao je i najmanju koncentraciju Mn u zrnu, Fe u listu i najmanji postotak proteina. Hibrid OSSK 444 je imao najveću koncentraciju Mn u listu, Mn, Zn i Cu u zrnu i proteina, ali prinos zrna je bio ispod prosjeka.

Svi glavni čimbenici te njihove interakcije su bili vrlo značajni odnosno značajni za sadržaj proteina u zrnu. Najveći utjecaj je imala godina te interakcija LxG. U prosjeku su veće vrijednosti sadržaja proteina zabilježene na lokaciji Osijek (7,94 %) uz nešto manje izraženu varijabilnosti između godina. Prosječno ostvaren sadržaj proteina u zrnu kukuruza u cijelom istraživanju je iznosio 7,88 %. Hibridi OSSK 444 (8,69 %) i OS 430 (8,46 %) su imali

značajno najveće vrijednosti, a OSSK 596 najmanju vrijednost (7,51 %) sadržaja proteina u zrnu.

Na sadržaj ulja je vrlo značajan utjecaj imao hibrid i lokacija te sve interakcije, dok je izuzetak u istraživanju bila godina koja nije utjecala na sadržaj ulja u zrnu kukuruza. U prosjeku veća vrijednost sadržaja ulja je postignuta na lokaciji Osijek (3,67 %) u usporedbi s Podgoračem (3,22 %). Prosječno ostvaren sadržaj ulja u zrnu kukuruza sve hibride u istraživanju je iznosio 3,45 %. Najveći sadržaj u svim okolinama je postigao OS 430 (3,81 %) dok je najmanji sadržaj ulja imao hibrid OSSK 602 (3,15 %).

Na sadržaj škroba u zrnu samo učinak hibrida je bio visokosignifikantan te interakcije HxL i LxG. Ostali glavni čimbenici i interakcije nisu bili statistički opravdane. U prosjeku na obje lokacije utvrđene su približno iste vrijednosti sadržaj škroba u zrnu kukuruza (73,1 % i 73,0 %). Statistički značajno najveće vrijednosti su postigla dva hibrida OS 499 i OSSK 552 s jednakim sadržajem škroba u zrnu kukuruza (73,6 %). Najmanju vrijednost je imao hibrid OS 430 (72,5 %).

Uzgojem hibrida koji bolje iskorištavaju specifične agroekološke uvjete moguće je postići veće prinose i veću ekonomsku dobi, kao i bolju kvalitetu zrna po tehnološkoj i hranidbenoj vrijednosti.

Stoga rezultati ovog istraživanja mogu pridonijeti boljem poznavanju tolerantnosti domaćih genotipova kukuruza na abiotski stres uzrokovan agroekološkim činiteljima.

7. LITERATURA

1. Alloway, B.J. (2008.): Micronutrient Deficiencies in Global Crop Production, Springer, Berlin.
2. Andrić, L., Rastija, M., Teklić, T. and Kovacevic, V. (2012.): Response of maize and soybeans to liming, Turkish Journal of Agriculture and Forestry 36., p. 415-420.
3. Antunović, M., Bukvić, G., Rastija, M. (2002.): Response of corn hybrids on two soil types of Slatina podravina area. Poljoprivreda (1330-7142) 8, 1; 15-19
4. Antunović, M., Kovačević, V., Bukvić, G. (2008.): Liming influences on maize and sugar beet yield and nutritional status, Cereal Research Communications 36, 3 (S), p. 1839-1842
5. Aref, F. (2012.): Manganese, iron and copper contents in leaves of maize plants (*Zea mays* L.) grown with different boron and zinc micronutrients. African Journal of Biotechnology Vol. 11(4), pp. 896-903.
6. Ashwood, A. (2007.): Fast and slow grains, Technical information-Nutrition, Brahman news, Semptember 2007, Issue 156, http://www.brahman.com.au/technical_information/
7. Bahat, Z., Stepinac, D. (2011.): Nedostatak željeza kod biljaka s različitim mehanizmima usvajanja željeza, „case study“: kukuruz i uljana repica, Agronomski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, (http://www.unizg.hr/rektorova/upload_2011/rektorova%20Stepinac%20i%20Bahat.pdf)
8. Baligar, V.C., Pitta, G.V.E., Gama, E.E.G., Schaffert, R.E., de C. Bahia Filho, A.F., Clark, R.B. (1997.): Soil acidity effects on nutrient use efficiency in exotic maize genotypes, Plant and Soil 192: 9–13. Kluwer Academic Publishers.
9. Banaj, Đ., Kovačević, V. and Bukvić, G. (2000.): Prilog izboru hibrida kukuruza za tla ograničene plodnosti u brodskoj Posavini, 36. znanstveni skup hrvatskih agronoma s međunarodnim sudjelovanjem "Postignuća i perspektive hrvatskog poljodjeljstva" / Kovačević, V. (ur.). - Osijek : Poljoprivredni fakultet Osijek, 184.
10. Bänziger, M. and Long, J. (2000.): The potential for increasing the iron and zinc density of maize through plant-breeding, Food & Nutrition Bulletin, Vol. 21, No. 4, 397-400.
11. Bergmann, W. (1992.): Nutritional disorders of plant: development, visual and analytical diagnosis. Gustav Fischer Publishing House Jena; Stuttgart; New York.

12. Black, R.E., Allen, L.H., Bhutta, Z.A., Caulfield, L.E., de Onis, M., Ezzati, M., Mathers, C., Rivera, J. (2008.): Maternal and child undernutrition: global and regional exposures and health consequences, *The Lancet*, Volume 371, Issue 9608, Pages 243 – 260.
13. Borojević, S. i Borojević, K. (1971.): *Genetika*, Izdavač: Kulturni centar, Novi Sad, 1971.
14. Brkić, I., Šimić, D., Zdunić, Z., Ledenčan, T., Jambrović, A., Kovačević, V., Kadar, I. (2003.): Combining abilities of corn-belt inbred lines of maize for mineral content in grain. *Maydica* (0025-6153) 48, 4; 293-297.
15. Brkić, I., Šimić, D., Zdunić, Z., Jambrović, A., Ledenčan, T., Kovačević, V. (2004.): Genotypic variability of micronutrient element concentrations in maize kernels. *Cereal research communications* (0133-3720) 32, 1; 107-112.
16. Cakmak, I. (2008.): Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification?, *Plant and Soil*, 302: 1-17.
17. Cakmak, I., Torun, A., Millet, E., Feldman, M., Fahima, T., Korol, A., Nevo, E., Braun, H.J. and Ozkan, H. (2004.): *Triticum dicoccoides*: An Important Genetic Resource for Increasing Zinc and Iron Concentration in Modern Cultivated Wheat, *Soil Sci.Plant Nutr.*, 50 (7), 1047-1054.
18. Cakmak, I., Pfeiffer, W.H. and McClafferty, B. (2010.): Biofortification of durum wheat with zinc and iron. *Cereal Chem.* 87: 10-20.
19. Cangiani Furlani, A.M, Furlani, P.R., Rotter Meda, A. and Pereira Duarte, P. (2005.): Efficiency of maize cultivars for zinc uptake and use, *Scientia Agricola* vol. 62 no. 3, (http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162005000300010)
20. Çelik, H., Aşık, B.B., Gürel, S., Katkat, A.V. (2010.): Effects of iron and potassium fertility on micro element uptake of maize. *African Journal of Agricultural Research* Vol. 5(16), pp. 2158-2168.
21. Chaab, A, Savaghebi, Gh. R. and Motesharezadeh, B. (2011.): Differences in the zinc efficiency among and within maize cultivars in a calcareous soil, *Asian Journal of Agricultural Sciences* 3(1): 26-31.
22. Chen, Y., Xiao, C., Chen, C., Li, Q., Zhang, J., Chen, F., Yuan, L., Mi, G. (2014.): Characterization of the plant traits contributed to high grain yield and high grain nitrogen concentration in maize. *Field Crops Research* 159: 1–9.

23. Drinić-Mladenović, S., Radosavljević, M., Semenčenko, V., Milašinović, M., Filipović, M. and Dumanović, Z. (2010.): Maize hybrids as raw material for bioethanol production, In : Proceedings & Abstracts of 3rd international scientific/professional conference Agriculture in nature and environment protection, Vukovar 31st May-2nd June 2010., p. 205-209.
24. Državni hidrometeorološki zavod (2011.): Prikaz br. 21, Praćenje i ocjena klime u 2010. godini, Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb, urednik mr.sc. Ivan Čačić, <http://klima.hr/razno/publikacije/prikazi/klima2010.pdf>
25. Državni hidrometeorološki zavod (2013.): Prikaz br. 23, Praćenje i ocjena klime u 2011. godini, Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb, urednik mr.sc. Ivan Čačić, <http://klima.hr/razno/publikacije/prikazi/klima2011.pdf>
26. Egner H., Riehm H., Domingo W. R. (1960.): Investigations on the chemical soil analysis as a basis for assessing the soil nutrient status II: Chemical extraction methods for phosphorus and potassium determination. *Kungliga Lantbrukshögskolans Annaler* 26:199–215.
27. Erdal, I., Yilmaz, A., Taban, S., Eker, S., Torun, B. and Cakmak, I. (2002.): Phytic acid and phosphorus concentrations in seeds of wheat cultivars grown with and without zinc fertilization, *Journal of Plant Nutrition* 25:113-127.
28. Fageria, N.K and Baligar, V.C. (1999.): Growth and nutrient concentrations of common bean, lowland rice, corn, soybean, and wheat at different soil pH on an inceptisol, *Journal of Plant Nutrition* Volume 22, Issue 9, p. 1495-1507.
29. Feil, B., Moser, S.B., Jampatong, S., Stamp, P. (2005.): Mineral composition of the grains of tropical maize varieties as affected by pre-anthesis drought and rate of nitrogen fertilization. *Crop Science* 45: 516-523.
30. Ferreira, C., Motta, A., Prior, S.A., Reissman, C., Dos Santos, N., Valaski, J., Gabardo, J. (2012.): Influence of corn (*Zea mays* L.) cultivar development on grain nutrient concentration. *International Journal of Agronomy*. Volume 2012, Article ID 842582. 7 pages.
31. Foy, C.D. (1973.): Manganese and plants, Monogr. Manganese, National Academy of Science, National Res. Council, Washington, p.51-76.
32. Gambrell, R. P. (1996.): Manganese. In: *Methods of Soil Analysis*, edit. by Bigham, J. M. Madison, Wisconsin: Soil Sci. Soc. of America, page 665-682.

33. Germ, M., Pongrac, P., Regvar, M., Vogel-Mikuš, K., Stibilj, V., Jaćimović, R., Kreft, I. (2013.): Impact of double Zn and Se biofortification of wheat plants on the element concentrations in the grain, *Plant, Soil and Environment*, Vol 59, No.7:316-321.
34. Glowacka, A. (2013.): Uptake of Cu, Zn, Fe and Mn by maize in the strip cropping system, *Plant, soil and environment*, Vol. 59, No. 7 : 322-328.
35. Graham, R. D., Welch, R. M. (1996.): Breeding for stable food crops with high micronutrient density. Working Papers on Agricultural Strategies for Micronutrients, No.3. International Food Policy Research Institute, Washington DC.
36. Grbeša, D. (2008.): Bc hibridi kukuruza u hranidbi životinja, Zagreb, 2008., Izdavač: Bc Institut za oplemenjivanje i proizvodnju bilja d.d., Zagreb, Marulićev trg 5/I, Hrvatska.
37. Gumze, A., Špoljarević, M., Kerovec, D., Teklić, T. (2008.): The influences of genotype and soil on maize nutritional status and free proline content. *Cereal Research Communications* 36 (Supl. 5 Part 2): 1279-1283.
38. Gumze, A. (2012.): Genetski i agroekološki činitelji akumulacije selena i mikroelemenata u kukuruzu, Doktorski rad, mentor Kovačević, V.
39. Heckman, J.R., Sims, J.T., Beegle, D.B., Coale, F.J., Herbert, S.J., Bruulsema, T.W. and Bamka, W.J. (2003.): Nutrient removal by corn grain harvest. *Agronomy Journal* 95(3): 587-591.
40. Hejerman, M., Berkova, M., Kunzova, E. (2013.): Effect of long-term fertilizer application on yield and concentrations of elements (N, P, K, Ca, Mg, As, Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn) in grain of spring barley, *Plant, Soil and Environment*, Vol. 59, No. 7: 329-334.
41. Hegyi, Z., Arendas, T., Pinter, J., Marton, C. (2008.): Evaluation of the grain yield and quality potential of maize hybrids under low and optimum water supply levels. *Cereal Research Communications*. 36: 1259 – 1262.
42. Hemalatha, S., Platel, K., Srinivasan, K. (2007.): Zinc and iron contents and their bioaccessibility in cereals and pulses consumed in India. *Food Chemistry* 102: 1328–1336.
43. Hede, A.R., Skovmand, B., López-Cesati, J. (2001.): Acid soils and aluminum toxicity. In: Reynolds MP, Ortiz-Monasterio JJ, McNab A (eds), *Application of Physiology in Wheat Breeding*. CIMMYT, Mexico, pp 172-182.

-
44. Hodges, S.C. (2010). Soil Fertility Basics. Soil Science Extension, North Carolina State University
 45. Hotz, C., Brown, K.H. (2004.): Assessment of the risk of zinc deficiency in populations and options for its control. Food and Nutrition Bulletin, vol. 25, no. 1 (supplement 2)
 46. Hou, P. Gao, Q., Xie, R., Li, S., Meng, Q., Kirkby, E.A., Römheld, V., Müller, T., Zhang, F., Cui, Z., Chen, X. (2012.): Grain yields in relation to N requirement: Optimizing nitrogen management for spring maize grown in China. Field Crops Research 129:1–6.
 47. House, W.A. (1999.): Trace element bioavailability as exemplified by iron and zinc. Field Crop Research 60:115-141.
 48. Idikut L., Atalay A. I., Kara S. N., Kamalak A. (2009.): Effect of Hybrid on Starch, Protein and Yields of Maize Grain. Journal of Animal and Veterinary Advances 8(10): 1945-1947.
 49. Iljkić, D., Andrić, L., Brkić, J., Kovačević, V. and Rastija, M. (2011.): Razlike u prinosima hibrida kukuruza u vlažnim uvjeti ma 2010. godine, Proceedings & abstract of the 4th International Scientific/Professional Conference Agriculture in Nature and Environment Protection / Stipešević, Bojan ; Sorić, Roberta (ur.). - Osijek : Glas Slavonije d.d., 247-251.
 50. Iljkić, D., Kovacevic, V. and Varga, I. (2014.): Impact of climate change on wheat, barley and rapeseed yields in Croatia, Zbornik radova 49. hrvatskog i 9. međunarodnog simpozija agronoma / Zdenko Lončarić, Sonja Marić (ur.). - Osijek : Poljoprivredni fakultet u Osijeku , 357-361.
 51. Impa, S. M., Gramlich, A., Tandy, S., Schulin, R., Frossard, E. and Johnson-beebout, S.E. (2013.): Internal Zn allocation influences Zn deficiency tolerance and grain Zn loading in rice (*Oryza sativa* L.), Front. Plant. Sci. 4, 534., Published online Dec. 24, 2013 (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3871718/>)
 52. Internacional Organization for Standardization (1994a): Soil quality – pretreatment of samples for physico – chemical analyses. ISO 11464:1994
 53. Internacional Organization for Standardization (1994b): Soil quality - Determination of pH. ISO 10390:1994.
 54. Internacional Organization for Standardization 1995. Soil quality – Extraction of trace elements soluble in aqua regia. ISO 11466: 1995(E).
-

-
55. Internacional Organization for Standardization (1995^a): Soil quality – Determination of carbonate content – Volumetric method. ISO 10693:1995.
 56. Internacional Organization for Standardization (1998.): Soil quality - Determination of organic carbon by sulfochromic oxidation. ISO 14235:1998.
 57. Jambrović, A., Šimić, D., Brkić, I., Zdunić, Z., Ledenčan, T. (2001.): Korelacije između prinosa hibrida kukuruza kod pokusa na više lokacija, *Agronomski glasnik* (0002-1954) 63, 4-5; 197-204.
 58. Jelić, M., Kovačević, V., Djalović, I. and Biberdžić, M. (2009.): Climate change influences on maize yields in Serbia and Croatia, *Research Journal of Agricultural Siences* (2066-1843) 41; 44-48.
 59. Josipović, M., Kovačević, V., Petošić, D., Šoštarić, J. (2005.): Wheat and maize yield variations in the Brod-Posavina area. *Cereal research communications*. 33, 1; 229-233.
 60. Josipović, M., Plavšić, H., Kovačević, V., Marković, M., Iljkić, D. (2014.): Impacts of irrigation and genotype on yield, protein, starch and oil contents in grain of maize inbred lines, *Genetika*, 46, 1; 243-253.
 61. Jug, I., Jug, D., Vukadinović, V., Đalović, I., Bertić, B., Tucak, M., Brozović, B., Sabo, M., Vинојčić, S. (2010.): Utjecaj klimatskih prilika na koncentraciju mikroelemenata kod soje pri konvencionalnoj i No-till varijanti obrade, In: *Proceedings & Abstracts of 3rd international scientific/professional conference Agriculture in nature and environment protection*, Vukovar 31st May-2nd June 2010., p.117-122.
 62. Karalić, K. (2009.): Utvrđivanje potrebe u kalcizaciji i utjecaj kalcizacije na status hraniva u tlu. Doktorski rad, mentor Lončarić, Z.
 63. Kastori, R., Maksimović, I. (2008.): *Ishrana biljaka*, Novi Sad, Izdavač: Vojvodanska akademija nauka i umetnosti, Lazarus, Kać.
 64. Kennedy, G., Nantel, G., Shetty, P. (2003.): The scourge of „hidden hunger“: Global dimensions of micronutrient deficiencies, *Food, Nutrition and Agriculture* 32: 8-16.
 65. King, J.C., Cousins, R.J. (2006.): Zinc, In Shils, M.E. and others (eds.): *Modern nutrition in health and disease*, 10th ed., Philadelphia, PA:Lippincott Williams&Wilkins.
 66. Kovačević, V., Bertić, B., Grgić, D. (1993.): Response of maize, barley, wheat and soybean to liming on acid soils. *Rostlinna Vyroba*. 39 (1): 41 – 52.

-
67. Kovačević, V. (2004^a.): Utjecaj oborinskog režima i svojstava tla na prinose kukuruza u istočnoj Hrvatskoj, *Agroznanje* (1512-6412) 5, 3; 51-57.
68. Kovačević, V., Brkić, I., Šimić, D., Bukvić, G., Rastija, M. (2004^b.): The Role Of Genotypes on phosphorus, zinc, manganese and iron status and their relations in leaves of maize on hydromorphic soil, *Plant, soil and environment* (1214-1178) 50, 12; 535-539.
69. Kovačević, V., Banaj, Đ., Kovačević, J., Lalić, A., Jurković, Z., Krizmanić, M. (2006.): Influences of Liming on Maize, Sunflower and Barley, *Cereal Research Communications* (0133-3720) 34, 1; 553-556.
70. Kovačević, V., Šimić, D., Šoštarić, J. and Josipović, M. (2007): Precipitation and temperature regime impacts on maize yields in Eastern Croatia, *Maydica* (0025-6153) 52 (2007.), 3; 301-305.
71. Kovačević, V. (2008.): Vremenske prilike sa stajališta uzgoja kukuruza u Hrvatskoj 2007. godine, *Agroznanje* (1512-6412) 9, 4; 43-50.
72. Kovačević, V., Šoštarić, J., Josipović, M., Iljkić, D., Marković, M. (2009.): Precipitation and temperature regime impacts on maize yields in Eastern Croatia. *Journal of Agricultural Sciences*. 41 ; 49-53.
73. Kovačević, V., Šoštarić, J., Rastija, M., Iljkić, D. and Marković, M. (2010.): Weather characteristics of 2009 with aspect of spring field crops growing in Pannonian region of Croatia, *Agrar- es Videkfejlesztési Szemle* 5, 1; 350-356.
74. Kovačević, V., Kovačević, D., Pepo, P. and Marković, M. (2013.): Climate change in Croatia, Serbia, Hungary and Bosnia and Herzegovina: comparison the 2010 and 2012 growing seasons, *Poljoprivreda (Osijek)* (1330-7142) 19, 2; 16-22.
75. Kovačević, V., Kaučić, D. (2014.): Climatic changes impacts on maize, sugar beet, soybeans and sunflower yields in Croatia, *Zbornik radova 49. hrvatskog i 9. međunarodnog simpozija agronoma / Zdenko Lončarić, Sonja Marić (ur.). - Osijek : Poljoprivredni fakultet u Osijeku*, 382-386.
76. Lastienne, I., Icard-Vernière, C., Mouquet, C., Picq, C., Trèche, S. (2005.): Effects of soaking whole cereal and legume seeds on iron, zinc and phytate contents. *Food Chemistry* 89: 421–425.
77. Lauer, J. (2006.): Concerns about drought as corn pollination begins. *Agronomy Advice, Field Crops* 28.493 – 42, <http://corn.agronomy.wisc.edu/AA/pdfs/A042.pdf>
-

-
78. Lemanceau P., Bauer P., Kraemer S., Briat J. F. (2009.): Iron dynamics in the rhizosphere as a case study for analyzing interaction between soils plants and microbes. *Plant and Soil* 321: 513–535.
 79. Liu, H. (2001.): Soil acidity and aluminum toxicity response in turfgrass, *Intl. turfgrass Soc. Res. Journal* 9: 180-188.
 80. Lončarić, Z., Karalić, K., Vukadinović, V., Bertić, B., Kovačević, V. (2005.): Variation of liming recommendation caused by calculation approach. *Plant nutrition for food security, human health and environmental protection / Li C.J. et al. (ur.). - Beijing : Tsinghua University Press, 1042-1043.*
 81. Lončarić, Z., Karalić, K., Popović, B., Rastija, D., Vukobratović, M. (2008.): Total and plant available micronutrients in acidic and calcareous soils in Croatia. *Cereal Research Communications*. 36, 1 (S5); 331-334.
 82. Lončarić, Z., Popović, B., Karalić, K., Jurković, Z., Nevistić, A., Engler, M. (2011.): Soil chemical properties and wheat genotype impact on micronutrient and toxic elements content in wheat integral flour, *Medicinski glasnik* 9, 1; 97-103.
 83. Lorenz, A., Scott, P. and Lamkey, K. (2007.): Quantitive determination of phytate and inorganic phosphorus for maize breeding. *Crop Sci* 47: 598-604.
 84. Maklenović, V., Vučković, S., Kovačević, V., Prodanović, S., Živanović, Lj. (2009.): Precipitation and temperature regimes impacts on maize yields, *Proceedings of 44th Croatian and 4th International Symposium on Agriculture / Marić, Sonja ; Lončarić, Zdenko (ur.). - Osijek : Poljoprivredni fakultet Osijek, 569-573.*
 85. Maksimović, L. (1999.): Zavisnost prinosa i morfoloških karakteristika kukuruza od vlažnosti zemljišta i sistema đubrenja u navodnjavanju, *Doktorska disertacija, Poljoprivredni fakultet Novi Sad.*
 86. Manzeke, G.M., Mtambanengwe, F., Nezomba, H., Mapfumo, P. (2014.): Zinc fertilization influence on maize productivity and grain nutritional quality under integrated soil fertility management in Zimbabwe. *Field Crops Research* 166: 128–136.
 87. Marković, M. (2013.): Utjecaj navodnjavanja i gnojidbe dušikom na urod i kvalitetu zrna hibrida kukuruza (*Zea mays* L.). *Doktorski rad. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. Poljoprivredni fakultet u Osijeku. Osijek.*
 88. Marković, M., Kovačević, V., Šošćarić, J., Josipović, M. and Iljkić, D. (2012.): Maize (*Zea mays* L.) production in climate change conditions, *Tematski zbornik radova*
-

- Melioracije 12 Novi Sad, Republika Srbija: Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Departman za uređenje voda, 128-135.
89. Markulj, A., Marijanović, M., Tkalec, M., Jozić, A. and Kovačević, V. (2010.): Effects of precipitation and temperature regimes on maize (*Zea mays* L.) yields in Northwestern Croatia, *Acta Agriculturae Serbica* (0354-9542) XV, 29; 39-45.
 90. Marschner H., Römheld V. (1994.): Strategies of plants for acquisition of iron, *Plant and Soil*. 165: 261-274.
 91. Marschner H., (1995.): *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic press Inc., San Diego CA 92101.
 92. Mayer, L.I., Rossini, M.A., Maddonni, G.A. (2012.): Inter-plant variation of grain yield components and kernel composition of maize crops grown under contrasting nitrogen supply. *Field Crops Research* 125: 98–108.
 93. McCay Buis, T.S., Huber, D.M., Graham, R.D. Phillips, J.D., Miskin, K.E. (1995.): Manganese seed content and take-all of cereals. *Journal of Plant Nutrition* 18:1711-1721.
 94. McLaren, R.G., Crawford, D.V. (1973.): Studies on soil copper I. The fractionation of copper in soils. *Journal Soil Sci.* 24, 172–181.
 95. Mengel, K., Kirkby, E.A., Kosegarten, H., Appel, T. (2001.): *Principles of plant nutrition*. 5th Edition. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Boston, London.
 96. Menkir, A. (2008.): Genetic variation for grain mineral content in tropical-adapted maize inbred lines. *Food Chemistry* 110: 454–464.
 97. Mesić, M., Husnjak, S., Bašić, F., Kisić, I., Gašpar, I. (2009.): Suvišna kiselost tla kao negativni čimbenik razvitka poljoprivrede u Hrvatskoj, 44. hrvatski i 4. međunarodni simpozij agronoma, Opatija, 9-18.
 98. Miljković, N.S. (2005.): *Meliorativna pedologija*, Poljoprivredni fakultet Novi Sad i JVP Vode Vojvodine, Novi Sad, tisak Feljton Novi Sad, 550 str.
 99. Oikeh, O. S., Menkir, A., Maziya-Dixon, B., Welch, R. and Glahn, P.R. (2003.): Genotypic Differences in Concentration and Bioavailability of Kernel-Iron in Tropical Maize Varieties Grown Under Field Conditions, *Journal of Plant Nutrition*, Volume 26, Issue 10-11, 2307-2319.

100. Okolo, N.A., Osodeke, V.E., Onwuka, M.I. (2007.): Amelioration of soil acidity using cocoa husk ash for maize production in umudike area of south east nigeria. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 7: 41-45
101. Ortiz-Monasterio, J.I., Palacios-Rojas, N., Meng, E., Pixley, K., Trethowan, R., Peña, R.J. (2007.): Enhancing the mineral and vitamin content of wheat and maize through plant breeding. *Journal of Cereal Science*, Volume 46, Issue 3, Pages 293–307.
102. Osječko-baranjska županija (2011.): Informacije o stanju i problematici biljne proizvodnje na području Osječko-baranjske županije. Dostupno na: <http://hidra.srce.hr/arhiva/273/71282/www.obz.hr/hr/pdf/2011/18%20sjednica/Informacija%20o%20stanju%20i%20problematici%20biljne%20proizvodnje%20na%20području%20Osječko-baranjske%20županije.pdf>, 12. 10. 2014. god., 10:20.
103. Paunović, A., Kovačević, V., Madić M., Jelić, M. and Iljkić, D. (2010.): Uticaj vremenskih prilika na prinose pšenice u periodu 2000.-2007. godine., XV savetovanje o biotehnologiji Čačak : Univerzitet u Kragujevcu, Agronomski fakultet u Čačku, 29-36.
104. Pearson, J.N., Rengel, Z. (1995.): Uptake and distribution of Zn and Mn in wheat grown at sufficient and deficient levels of Zn and Mn during growth development. *J. Exp. Biol.* 46: 841-845.
105. Plavšić, H. (2012.): Reakcija samooplodnih linija kukuruza na sadržaj vode i dušika u tlu. Doktorski rad. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. Poljoprivredni fakultet u Osijeku. Osijek.
106. Popović, Ž. (1987.): Fiziologija biljaka-Ishrana i metabolizam, Beograd, IRO „Naučna knjiga“, Beograd.
107. Potarzycki, J., Grzebisz, W. (2009.): Effect of zinc foliar application on grain yield of maize and its yielding components, *Plant Soil Environ.*, 55, (12): 519-527.
108. Queiroz, V. A. V., de Oliveira Guimarães, P. E., Queiroz, L. R., de Oliveira Guedes, E., Vasconcelos, V. D. B., Guimarães, L. J., de Aquino Ribeiro, P. E., Schaffert, R. E. (2011.): Iron and zinc availability in maize lines, *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 31(3): 577-583, (<http://www.scielo.br/pdf/cta/v31n3/a05v31n3.pdf>).
109. Rastija, M. (2006.): Utjecaj okoliša i genotipa na prinose i koncentraciju P, K, Mn i Zn u kukuruзу, Doktorski rad, mentor Kovačević, V.
110. Rastija, M., Rastija, D., Šimić, D., Mihaljević, I. (2009.): Prinosi i koncentracije Mn i Zn u zrnu samooplodnih linija i hibrida kukuruza. *Poljoprivreda* 15(2):20-25.

111. Rastija, M., Kovacevic, V., Rastija, D., Simic, D. (2010.): Manganese and zinc concentrations in maize genotypes grown on soils differing in acidity, *Acta Agronomica Hungarica*, 58(4), p. 385-393.
112. Rastija, M., Iljkić, D., Kovačević, V. and Brkić, I. (2012.): Weather impacts on maize productivity in Croatia with emphasis on 2011 growing season, *Növénytermelés* (0546-8191) 61 (2012), Suppl.; 329-332.
113. Reed, S.T., Martens, D.C. (1996.): Copper and zinc, In: *Methods of soil analysis*, edited by Bigham, J.M., Madison: Soil Sci. Soc. Am., page 703-722.
114. Rengel, Z., Battenb, G.D. and Crowleyc, D.E. (1999.): Agronomic approaches for improving the micronutrient density in edible portions of field crops. *Field Crops Research*, Volume 60, Issues 1–2, p. 27–40.
115. Römheld, V., Nikolic, M. (2007.): Iron. In Allan V. Barker et al. (eds) *Handbook of Plant Nutrition*. CRC Press. Taylor and Francis Group. Boca Raton, FL. pp: 329-351.
116. Römheld V., Marschner H. (1986.): Mobilization of iron in the rhizosphere of different plants species. In: Tinker A., Läuchli A. "Advances in Plant Nutrition", Vol. 2 B. Prager Scientific, New York, 155-204.
117. Rutkowska, B., Szulc, W., Sosulski, T., Stepień, W. (2014.): Soil micronutrient availability to crops affected by long-term inorganic and organic fertilizer applications, *Plant, soil and environment*, Vol. 60, No. 5:198-203.
118. SAS Institute Inc., (2003.): *SAS Software 9.1.3.*, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
119. Sauvante, D., Perez, J.M. and Tran, G. (2004.): *Tables of Composition and Nutritional Value of Feed Materials*. Wageningen Academic Publisher & INRA Paris.
120. Schulte, E.E. (2004.): Soil and applied iron. Understanding plant nutrients, <http://www.soils.wisc.edu/extension/pubs/A3554.pdf>
121. Schulte, E.E., Kelling, K.A. (2004.): Soil and applied copper. Understanding Plant Nutrients, <http://www.soils.wisc.edu/extension/pubs/A2527.pdf>
122. Shaw, R.H. (1977.): Climatic Requirement. In: G.F. Sprague (ed.). *Corn and Corn Improvement* American Society of Agronomy, Inc., Publisher Madison, Wisconsin, USA.
123. Sipos, P., Toth, A., Ungai, D., Pongráczné Barancsi, A., Gyiri, Z. (2007.): Changes of micro element composition of maize in a field experiment. *Cereal Research Communications* 35(2): 1069-1072.
124. Soil Survey Staff (1951.): *Soil Survey Manual*. USDA, Handbook No. 18, 503

-
125. Sorić, R., Ledenčan, T., Zdunić, Z., Jambrović, A., Brkić, I., Iončarić, Z., Kovačević, V. and Šimić, D. (2011.): Quantitative trait loci for metal accumulation in maize leaf, *Maydica* 56-1738, p. 323-328.
 126. Stevanović, M., Čamdžija, Z., Dragičević, V., Filipović, M., Delić, N. and Drinić-Mladenović, S. (2010.): Chemical composition and phytate content of ZP maize hybrids, In : Proceedings & Abstracts of 3rd international scientific/professional conference Agriculture in nature and environment protection, Vukovar 31st May-2nd June 2010., p.101-105.
 127. Stojić, B., Kovačević, V., Šeput, M., Kaučić, D. and Mikoč, V. (2012.): Maize yields variation among years as function of weather regimes and fertilization, *Növénytermelés* (0546-8191) 61, Suppl.; 85-88.
 128. Subedi, K., Ma, B. (2009.): Assessment of some major yield-limiting factors on maize production in a humid temperate environment, *Field Crops Research*, 110: 21-26.
 129. Sudar, R., Brkić, I., Jurković, Z., Ledenčan T., Jurković, V. i Šimić, D. (2012.): Sastav masnih kiselina ulja OS hibrida kukuruza, *Proceedings of 47th Croatian & 7th International Symposium on Agriculture / Pospišil, Milan (ur.). - Zagreb : University of Zagreb, Faculty of Agriculture*, 335-339.
 130. Šimić, D., Zdunić, Z., Brkić, I., Kadar, I. (2004.): Inheritance of mineral concentrations in kernels of elite maize inbred lines. In: Genetic variation for plant breeding. Johann, V. et al. (eds.) 17th EUCARPIA General Congress. Vienna, Austria BOKU-University of Natural Resources and Applied Sciences. 485.
 131. Šimić, D., Sudar, R., Ledenčan, T., Jambrović, A., Zdunić, Z., Brkić, I., Kovačević, V. (2009.^a): Genetic variation of bioavailable iron and zinc in grain of a maize population. *Journal of Cereal Science* 50:392-397.
 132. Šimić, D., Zdunić, Z., Jambrović, A., Ledenčan, T., Brkić, I., Duvnjak, V., Kovačević, V. (2009.^b): Relations among six micronutrients in grain determined in a maize population, *Poljoprivreda* 15(2):15-19.
 133. Škorić, A. (1992.): Priručnik za pedološka istraživanja. Sveučilište u Zagrebu. Fakultet poljoprivrednih znanosti -Zagreb.
 134. Trierweiler, F.J., Lindsay, W.L. (1969.): EDTA - Ammonium carbonate soil test for Zn. *Soil Sci Soc Amer Proc* 33: 49-54.
 135. Turnland, J. (2006.): Copper, In Shils, M.E. and others (eds.): *Modern nutrition in health and disease*, 10th ed. Philadelphia, PA:Lippincott Williams&Wilkins.
-

136. Velu, G., Rai, K.N., Muralidharan, V., Longvah, T., Crossa, J. (2011.): Gene effects and heterosis for grain iron and zinc density in pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.), *Euphytica* 180 (2): 251-259.
137. Von Uexkull, H. R., Mutert, E. (1995.): Global extent, development and economic impact of acid soils. *Plant and Soil*. 171: 1-15.
138. Vragolović, A., Šimić, D., Buhiniček, I., Jukić, K., Kovačević, V. (2007.): Lack of association for iron and zinc concentrations between leaf and grain of maize genotypes grown on two soil types, *Cereal Research Communications* (0133-3720) 35, 2 Part 2; 1313-1316
139. Vukadinović, V., Bertić, B. (1988.): Praktikum iz agrokemije i ishrane bilja. Osijek: BTZNC, Poljoprivredni fakultet u Osijeku.
140. Vukadinović, V., Lončarić, Z. (1998.): Ishrana bilja, II izmjenjeno i dopunjeno izdanje. Nakladnik Poljoprivredni fakultet Osijek, Tisak:IBL d.o.o. 293 str.
141. Wardlaw, G.M. and Hampl, J.S. (2007.): *Perspectives in Nutrition*, seventh edition, published by The McGraw-Hill Companies, New York.
142. Wood, R.J., Ronnenberg, A.G. (2006.): Iron. In: *Modern Nutrition in Health and Disease*, Shils. M.E., Shike, M., Ross, A.C., Caballero, B., Cousins, R.J. (eds.), 10th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 248-270.
143. Yazdani, M., Pirdashti, H. (2011.): Efficiency of co-inoculation phosphate solubilizer microorganisms (PSM) and plant growth promoting Rhizobacteria (PGPR) on micronutrients uptake in corn (*Zea mays* L.). *International Research Journal of Applied and Basic Sciences* 2(1):28-34
144. Zdunić, Z., Šimić, D., Brkić, I., Jambrović, A., Zdunić, R. i Ledenčan, T. (2001.): Korelacije između srednje vrijednosti i parametara stabilnosti za prinos zrna kod novostvorenih hibrida kukuruza, *Agronomski glasnik* (0002-1954) 63, 6; 315-324.
145. Zdunić, Z., Šimić, D., Brkić, I., Jambrović, A., Zdunić, R. i Ledenčan, T. (2002.): Analiza stabilnosti i adaptabilnosti prinosa zrna OS eksperimentalnih hibrida kukuruza, *Sjemenarstvo* (1330-0121) 19, 1-2; 25-32.
146. Zhang, Y.G, Zhang, Y.Y., Cai, J.P., Zhu, P., Gao, H.J., Jiang, Y. (2014.): Variation in available micronutrients in black soil after 30-year fertilization treatment, *Plant, soil and environment* Vol. 60, No. 9: 387-393.

147. Xu, Y., Yu., W., Ma., Q., Zhou, H. (2013.): Accumulation of copper and zinc in soil and plant within ten-year application of different pig manure rates, Plant, soil and environment, Vol.59, No.11:492-499.
148. White, P.J., Veneklaas, E.J. (2012.): Nature and nurture:the importance of seed phosphorus content, Plant and Soil, Vol. 357, No. 1-2: 1-8.

Internet izvori:

<http://www.who.int/nutrition/topics/ida/en/> Pristup: 11. travnja 2013., 11.28 h

http://www.ars.usda.gov/research/programs/programs.htm?np_code=107&docid=17617

Pristup: 11. travnja 2013., 11.45 h

http://www.spectrumanalytic.com/doc/library/article_list Pristup: 18. travnja 2013., 10.05 h

<http://www.foss.dk> Pristup: 12. prosinca 2014., 9.30 h

<http://www.uwex.edu/ces/ag/issues/drought2003/corneffect.html> Pristup: 5. rujna 2013., 10.22 h

<http://www.zinc.org> Pristup: 14. srpnja 2014., 20.15 h

http://www.dzs.hr/Hrv_Eng/ljetopis/2012/sljh2012.pdf Pristup: 18. siječnja 2015., 16.55 h

http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=10026&page=290 (Food and Nutrition Board, Institute of Medicine: Dietary Reference Intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium and zinc., Washington, DC: National Academy Press, 2001. www.nap.edu

<http://harvestzinc.org/>, Pristup: 10. lipnja 2014., 9.45 h.

<http://www.google.hr/maps/>, Pristup: 20. prosinca 2014., 12.15 h.

<http://faostat.fao.org/site/291/default.aspx>, Pristup: 27. lipnja 2013., 11.08 h.

8. SAŽETAK

U ovom istraživanju utvrđen je utjecaj hibrida, godine i lokacije (okolina) na prinos zrna kukuruza, koncentracije željeza (Fe), mangana (Mn), cinka (Zn) i bakra (Cu) u listu i zrnu te sadržaj proteina, ulja i škroba u zrnu kukuruza. Poljski pokus je proveden po slučajnom bloknom raspredu u četiri ponavljanja na dvije lokacije (Osijek i Podgorač), dvije godine (2010. i 2011.) i 10 komercijalnih hibrida kukuruza Poljoprivrednog instituta Osijek različitih FAO skupina (DRAVA 404, OS 430, OSSK 444, OS 499, OSSK 515, OS 5717, OSSK 552, OSSK 596, OSSK 602 i OSSK 617). Istraživane godine su se međusobno razlikovale po ukupnoj količini oborina i prosječnim srednje dnevnim temperaturama u usporedbi s promatranim višegodišnjim prosjekom (1981. – 2005.). Lokaciju Osijek karakterizira eutrično smeđe tlo, slabo kisela reakcija (pH KCl-u 6,07) i veća koncentracija biljci pristupačnog bakra i mangana dok se u Podgoraču nalazi pseudoglej na zaravni hidromeliorirani jako kisele reakcije tla (pH KCl-u 4,13) s većom koncentracijom biljci pristupačnog željeza i cinka. Prema pojedinačnim i kombiniranim analizama varijance na prinos zrna su utjecali ($P \leq 0,05$) hibrid (H), lokacija (L) i godina (G) kao i sve međusobne interakcije. Prosječno ostvaren prinos zrna kukuruza u istraživanju iznosio je $8,61 \text{ t ha}^{-1}$. Prosječno najmanji prinos zrna je ostvario hibrid OSSK 552 ($8,20 \text{ t ha}^{-1}$), a najveći OS 499 ($8,92 \text{ t ha}^{-1}$). Općenito je na lokaciji Osijek postignut veći prinos zrna ($10,43 \text{ t ha}^{-1}$) u usporedbi s lokacijom Podgorač ($6,79 \text{ t ha}^{-1}$). Na koncentraciju mikroelemenata u listu i zrnu značajno ($P \leq 0,05$) su utjecali svi istraživani glavni čimbenici (G, L, H) dok lokacija nije bila statistički opravdana za koncentraciju Fe odnosno godina za koncentraciju Cu u zrnu. U listu su utvrđene sljedeće prosječne vrijednosti koncentracije mikroelemenata: $131 \text{ mg Fe kg}^{-1}$, 90 mg Mn kg^{-1} , $26,1 \text{ mg Zn kg}^{-1}$ i $7,9 \text{ mg Cu kg}^{-1}$ dok su u zrnu one iznosile: $20,9 \text{ mg Fe kg}^{-1}$, $4,58 \text{ mg Mn kg}^{-1}$, $17,5 \text{ mg Zn kg}^{-1}$ i $1,79 \text{ mg Cu kg}^{-1}$ uz određena značajna variranja u i listu i u zrnu. Sadržaj proteina, ulja i škroba je bio pod značajnim utjecajem ($P \leq 0,05$) hibrida, lokacije i godine uz izuzetak utjecaja godine za sadržaj ulja odnosno utjecaja lokacije i godine za sadržaj škroba u zrnu kukuruza. Prosječan sadržaj proteina u zrnu je iznosio 7,88 % uz variranje od 7,51 % (OSSK 596) do 8,69 % (OSSK 444), ulja 3,45 % uz variranje od 3,15 % (OSSK 602) do 3,81 % (OS 430) i škroba 73,0 % uz variranje od 72,5 % (OS 430) do 73,6 % (OS 499 i OSSK 552). Ovaj doktorski rad upućuje na daljnje istraživanje zbog boljeg shvaćanja složenog odnosa genotipova i okoline odnosno fizikalnih i kemijskih svojstava tla i vremenskih prilika.

Ključne riječi: hibridi kukuruza, agroekološki uvjeti, prinos, mikroelementi, kvaliteta zrna

9. SUMMARY

Genotypes and agroecologicals effects on microelements concentration and grain yield of maize

This study examined effect of hybrids, year and location (environment) on maize grain yield, the concentration of iron (Fe), manganese (Mn), zinc (Zn) and copper (Cu) in leaf and grain dry matter and furthermore, protein, oil and starch content in maize grain. A field experiment was conducted in a randomized complete block with four replications at two locations (Osijek and Podgorač), during two years (2010 and 2011) and with 10 commercial maize hybrids different FAO groups originating from Agricultural Institute Osijek (DRAVA 404, OS 430, OSSK 444, OS 499, OSSK 515, OS 5717, OSSK 552, OSSK 596, OSSK 602 i OSSK 617). The 2010 and 2011 years were different in total amount of rainfall and the average mean air-temperature in comparison to the long-term mean (1981-2005). The location Osijek is eutric brown soil type, very low pH reaction in KCl-u (6,07) and higher concentration plant available cooper and manganese while Podgorač is pseudogley very acid pH reaction (4,13) and greather concentration plant available iron and zinc. As a result of one-way and a factorial analyzes of variance, maize grain yield were significantly influenced ($P \leq 0.05$) by hybrid (H), location (L) and years (G) and all interaction. The average achieved maize grain yield of experiment was 8.61 t ha^{-1} . Maize hybrid OSSK 552 achived the smallest average maize grain yield (8.20 t ha^{-1}) and on the contrary the highest maize grain yield had OS 499 hybrid (8.92 t ha^{-1}). Generally, at location Osijek achieved average yield of 2-years experiment was higher (10.43 t ha^{-1}) as compared with the location Podgorač (6.79 t ha^{-1}). Nutrient concentration in leaf and grain dry matter were significantly different ($P \leq 0.05$) for all main factors (G, L, H), while the location was not statistically justified only for the Fe grain concentration and location was not statistically justified for Cu grain concentration. There were significant variations in leaf and grain trace elements concentration. The average leaf trace elements concentrations were $131,0 \text{ mg Fe kg}^{-1}$, $90,0 \text{ mg Mn kg}^{-1}$, $26,1 \text{ mg Zn kg}^{-1}$ and $7,9 \text{ mg Cu kg}^{-1}$, whereas grain trace elements concentration were $20,9 \text{ mg Fe kg}^{-1}$, $4,58 \text{ mg Mn kg}^{-1}$, $17,5 \text{ mg Zn kg}^{-1}$ and $1,79 \text{ mg Cu kg}^{-1}$. Protein, oil and starch content in maize grain was significantly affected ($P \leq 0.05$) by hybrids, locations and years with the exception of the impact of the oil content and the impact location on the content of starch in maize grain. The average grain protein content was 7.88 % with a variation of 7.51 % (OSSK 596) to 8.69 % (OSSK 444), oil content was on average

3.45 % with a variation of 3.15 % (OSSK 602) to 3.81 % (OS 430) and starch content was on average 73.0 % with a variation of 72.5 % (OS 430) to 73.6 % (OS 499 and OSSK 552). This dissertation suggests further research for better understanding of genotypes and environments complex relation with physical and chemical properties of soil and weather conditions.

Keywords: maize hybrids, agroecological conditions, yield, trace elements, seed quality

10. PRILOG

10. 1. Popis tablica

Tablica 1.	Popis hibrida u istraživanju	18
Tablica 2.	Količina hranjiva (kg ha^{-1}) dodanih gnojdbom	19
Tablica 3.	Ukupne, prosječne i dekadske vrijednosti količine oborina i srednjih dnevnih temperatura zraka u ispitivanoj 2010. godini i višegodišnji prosjek (1981.-2005.) na meteorološkoj postaji Osijek	31
Tablica 4.	Ukupne, prosječne i dekadske vrijednosti količine oborina i srednjih dnevnih temperatura zraka u ispitivanoj 2010. godini i višegodišnji prosjek (1981.-2005.) na meteorološkoj postaji Našice	32
Tablica 5.	Ukupne, prosječne i dekadske vrijednosti količine oborina i srednjih dnevnih temperatura zraka u ispitivanoj 2011. godini i višegodišnji prosjek (1981.-2005.) na meteorološkoj postaji Osijek	36
Tablica 6.	Ukupne, prosječne i dekadske vrijednosti količine oborina i srednjih dnevnih temperatura zraka u ispitivanoj 2011. godini i višegodišnji prosjek (1981.-2005.) na meteorološkoj postaji Našice	37
Tablica 7.	Osnovna kemijska svojstva tla u Podgoraču i Osijeku 2010. i 2011. godine	38
Tablica 8.	Koncentracije ukupnih i pristupačnih mikroelemenata u tlu u Podgoraču i Osijeku 2010. i 2011. godine	39
Tablica 9.	Mehanički sastav tla	41
Tablica 10.	Fizikalna svojstva tla	42
Tablica 11.	Značajnost F testa za prinos zrna kukuruza (t ha^{-1}) po godinama i lokalitetima	43
Tablica 12.	Analiza varijance, F-vrijednosti i signifikantnost učinaka hibrida, lokacije i godine te njihovih interakcija na prinos zrna kukuruza kroz dvije godine na dvije lokacije	43

Tablica 13. Srednje vrijednosti prinosa kukuruza ($t\ ha^{-1}$) 10 hibrida kukuruza po lokalitetima i godinama istraživanja s odgovarajućim vrijednostima najmanje značajne razlike (LSD) na razini $P \leq 0,05$	44
Tablica 14. Značajnost F testa za sadržaj vlage (%) u zrnu kukuruza po godinama i lokalitetima	45
Tablica 15. Analiza varijance, F-vrijednosti i signifikantnost učinaka hibrida, lokacije i godine te njihovih interakcija na sadržaj vlage kukuruza kroz dvije godine na dvije lokacije	45
Tablica 16. Srednje vrijednosti sadržaja vlage u zrnu kukuruza (%) kod 10 hibrida kukuruza po lokalitetima i godinama istraživanja s odgovarajućim vrijednostima najmanje značajne razlike (LSD) na razini $P \leq 0,05$	46
Tablica 17. Značajnost F testa za koncentracije Fe ($mg\ kg^{-1}$) u listu kukuruza ispod klipa po godinama i lokalitetima	47
Tablica 18. Analiza varijance, F-vrijednosti i signifikantnost učinaka hibrida, lokacije i godine te njihovih interakcija na koncentraciju Fe u listu kroz dvije godine na dvije lokacije	47
Tablica 19. Srednje vrijednosti koncentracije Fe ($mg\ kg^{-1}$) u listu kod 10 hibrida kukuruza po lokalitetima i godinama istraživanja s odgovarajućim vrijednostima najmanje značajne razlike (LSD) na razini $P \leq 0,05$	48
Tablica 20. Značajnost F testa za koncentracije Mn ($mg\ kg^{-1}$) u listu kukuruza ispod klipa po godinama i lokalitetima	49
Tablica 21. Analiza varijance, F-vrijednosti i signifikantnost učinaka hibrida, lokacije i godine te njihovih interakcija na koncentraciju Mn u listu kroz dvije godine na dvije lokacije	50
Tablica 22. Srednje vrijednosti koncentracije Mn ($mg\ kg^{-1}$) u listu kod 10 hibrida kukuruza po lokalitetima i godinama istraživanja s odgovarajućim vrijednostima najmanje značajne razlike (LSD) na razini $P \leq 0,05$	51
Tablica 23. Značajnost F testa za koncentracije Zn ($mg\ kg^{-1}$) u listu kukuruza ispod klipa po godinama i lokalitetima	52

Tablica 24. Analiza varijance, F-vrijednosti i signifikantnost učinaka hibrida, lokacije i godine te njihovih interakcija na koncentraciju Zn u listu kroz dvije godine na dvije lokacije	52
Tablica 25. Srednje vrijednosti koncentracije Zn (mg kg^{-1}) u listu kod 10 hibrida kukuruza po lokalitetima i godinama istraživanja s odgovarajućim vrijednostima najmanje značajne razlike (LSD) na razini $P \leq 0,05$	53
Tablica 26. Značajnost F testa za koncentracije Cu (mg kg^{-1}) u listu kukuruza ispod klipa po godinama i lokalitetima	54
Tablica 27. Analiza varijance, F-vrijednosti i signifikantnost učinaka hibrida, lokacije i godine te njihovih interakcija na koncentraciju Cu u listu kroz dvije godine na dvije lokacije	54
Tablica 28. Srednje vrijednosti koncentracije Cu (mg kg^{-1}) u listu kod 10 hibrida kukuruza po lokalitetima i godinama istraživanja s odgovarajućim vrijednostima najmanje značajne razlike (LSD) na razini $P \leq 0,05$	56
Tablica 29. Značajnost F testa za koncentracije Fe (mg kg^{-1}) u zrnu kukuruza po godinama i lokalitetima	57
Tablica 30. Analiza varijance, F-vrijednosti i signifikantnost učinaka hibrida, lokacije i godine te njihovih interakcija na koncentraciju Fe u zrnu kroz dvije godine na dvije lokacije	57
Tablica 31. Srednje vrijednosti koncentracije Fe (mg kg^{-1}) u zrnu kod 10 hibrida kukuruza po lokalitetima i godinama istraživanja s odgovarajućim vrijednostima najmanje značajne razlike (LSD) na razini $P \leq 0,05$	58
Tablica 32. Značajnost F testa za koncentracije Mn (mg kg^{-1}) u zrnu kukuruza po godinama i lokalitetima	59
Tablica 33. Analiza varijance, F-vrijednosti i signifikantnost učinaka hibrida, lokacije i godine te njihovih interakcija na koncentraciju Mn u zrnu kroz dvije godine na dvije lokacije	60
Tablica 34. Srednje vrijednosti koncentracije Mn (mg kg^{-1}) u zrnu kod 10 hibrida kukuruza po lokalitetima i godinama istraživanja s	60

odgovarajućim vrijednostima najmanje značajne razlike (LSD) na razini $P \leq 0,05$	
Tablica 35. Značajnost F testa za koncentracije Zn (mg kg^{-1}) u zrnu kukuruza po godinama i lokalitetima	62
Tablica 36. Analiza varijance, F-vrijednosti i signifikantnost učinaka hibrida, lokacije i godine te njihovih interakcija na koncentraciju Zn u zrnu kroz dvije godine na dvije lokacije	62
Tablica 37. Srednje vrijednosti koncentracije Zn (mg kg^{-1}) u zrnu kod 10 hibrida kukuruza po lokalitetima i godinama istraživanja s odgovarajućim vrijednostima najmanje značajne razlike (LSD) na razini $P \leq 0,05$	63
Tablica 38. Značajnost F testa za koncentracije Cu (mg kg^{-1}) u zrnu kukuruza po godinama i lokalitetima	64
Tablica 39. Analiza varijance, F-vrijednosti i signifikantnost učinaka hibrida, lokacije i godine te njihovih interakcija na koncentraciju Cu u zrnu kroz dvije godine na dvije lokacije	65
Tablica 40. Srednje vrijednosti koncentracije Cu (mg kg^{-1}) u zrnu kod 10 hibrida kukuruza po lokalitetima i godinama istraživanja s odgovarajućim vrijednostima najmanje značajne razlike (LSD) na razini $P \leq 0,05$	66
Tablica 41. Značajnost F testa za sadržaj proteina (%) u zrnu kukuruza po godinama i lokalitetima	66
Tablica 42. Analiza varijance, F-vrijednosti i signifikantnost učinaka hibrida, lokacije i godine te njihovih interakcija na sadržaj proteina u zrnu kroz dvije godine na dvije lokacije	67
Tablica 43. Srednje vrijednosti sadržaja proteina (%) u zrnu kod 10 hibrida kukuruza po lokalitetima i godinama istraživanja s odgovarajućim vrijednostima najmanje značajne razlike (LSD) na razini $P \leq 0,05$	68
Tablica 44. Značajnost F testa za sadržaj ulja (%) u zrnu kukuruza po godinama i lokalitetima	69

Tablica 45. Analiza varijance, F-vrijednosti i signifikantnost učinaka hibrida, lokacije i godine te njihovih interakcija na sadržaj ulja u zrnu kroz dvije godine na dvije lokacije	69
Tablica 46. Srednje vrijednosti sadržaja ulja (%) u zrnu kod 10 hibrida kukuruza po lokalitetima i godinama istraživanja s odgovarajućim vrijednostima najmanje značajne razlike (LSD) na razini $P \leq 0,05$	70
Tablica 47. Značajnost F testa za sadržaj škroba (%) u zrnu kukuruza po godinama i lokalitetima	71
Tablica 48. Analiza varijance, F-vrijednosti i signifikantnost učinaka hibrida, lokacije i godine te njihovih interakcija na sadržaj škroba u zrnu kroz dvije godine na dvije lokacije	71
Tablica 49. Srednje vrijednosti sadržaja škroba (%) u zrnu kod 10 hibrida kukuruza po lokalitetima i godinama istraživanja s odgovarajućim vrijednostima najmanje značajne razlike (LSD) na razini $P \leq 0,05$	72
Tablica 50. Značajnost korelacija između ispitivanih svojstava na temelju srednjih vrijednosti ($n = 40$ članova)	74

10. 2. Popis grafikona

Grafikon 1. Klima dijagram prema Walter-u za meteorološku postaju Osijek tijekom 2010 godine	32
Grafikon 2. Klima dijagram prema Walter-u za meteorološku postaju Našice tijekom 2010 godine	33
Grafikon 3. Klima dijagram prema Walter-u za meteorološku postaju Osijek tijekom 2011 godine	36
Grafikon 4. Klima dijagram prema Walter-u za meteorološku postaju Našice tijekom 2011. godine	37

10. 3. Popis slika

Slika 1. Lokacije pokusa (www.google.hr/maps/)	17
Slika 2. Hibrid Drava 404	20
Slika 3. Hibrid OS 430	20
Slika 4. Hibrid OSSK 444	21
Slika 5. Hibrid OS 499	21
Slika 6. Hibrid OSSK 515	22
Slika 7. Hibrid OS 5717	22
Slika 8. Hibrid OSSK 552	23
Slika 9. Hibrid OSSK 596	23
Slika 10. Hibrid OSSK 602	24
Slika 11. Hibrid OSSK 617	24
Slika 12. Uzimanje uzoraka tla nakon berbe kukuruza	25
Slika 13. Pedomorfološke značajke profila tla na lokaciji Osijek (Eutrično smeđe tlo)	40
Slika 14. Pedomorfološke značajke profila tla na lokaciji Podgorač (Pseudoglej na zaravni)	40

Životopis

Rođen sam 28. prosinca 1982. godine u Gradačcu, Bosna i Hercegovina. Osnovnu i srednju Poljoprivrednu i veterinarsku školu smjera Poljoprivredni tehničar – općeg smjera završio sam u Osijeku 2001. godine nakon čega upisujem Poljoprivredni fakultet. Diplomirao sam 2009. godine među 10 % najuspješnih studenata te stekao zvanje diplomirani inženjer poljoprivrede općeg smjera. Tijekom akademskih godina 2006./2007., 2007./2008. i 2008./2009. obavljao sam poslove demonstratora na predmetima Povrćarstvo i Cvjećarstvo. Na Poljoprivrednom fakultetu radim od 2009. godine na Zavodu za Bilinogojstvo, Katedri za žitarice i industrijsko bilje kao znanstveni novak-asistent na znanstvenom projektu „Prevladavanje stresa uzgoja kukuruza na kiselom tlu gnojdbom i oplemenjivanjem“ (079-0730463-0447). Od 2010. godine polaznik sam poslijediplomskog doktorskog studija „Poljoprivredne znanosti“ smjera Oplemenjivanje bilja i sjemenarstvo. Sudjelujem u nastavi na stručnim studijima Bilinogojstvo – smjer Ratarstvo i Agrarno poduzetništvo te preddiplomskom sveučilišnom studiju Bilinogojstvo i diplomskom sveučilišnom studiju Bilinogojstvo – smjer Biljna proizvodnja na modulima Žitarice, Žitarice praksa, Specijalno ratarstvo – praksa i Osnove proizvodnje žitarica. Bio sam stipendist Norveškog centra za međunarodnu suradnju u visokom obrazovanju (SIU) kroz projekt „Obrazovanje, istraživanje i obuka za globalne ekološke promjene i održivo gospodarenje prirodnim resursima“. Također bio sam suradnik na međunarodnom bilateralnom projektu između Hrvatske i Srbije pod nazivom „Prilagođavanje agrotehnike i sortimenta ratarskih kultura globalnim klimatskim promjenama“. Tijekom dosadašnjeg rada kao autor i koautor objavio sam 1 rad kategorije a1, 9 radova kategorije a2, 19 radova kategorije a3, 6 ostalih radova i 5 sažetaka. Sudjelovao sam na 23 međunarodna skupa s 10 usmenih izlaganja. Član sam Hrvatskog agronomskog društva (HAD), Europskog društva za istraživanje oplemenjivanja bilja (EUCARPIA) i Radne skupine za priznavanje hibrida kukuruza pri Ministarstvu poljoprivrede. Također, član sam Senata Sveučilišta J.J. Strossmayer i tajnik Alumni udruge bivših studenata i prijatelja Poljoprivrednog fakulteta u Osijeku. Oženjen sam i otac jednog djeteta.

Uže područje interesa mi je istraživanje utjecaja agroekoloških stresnih činitelja na prinose i druge parametre najzastupljenih ratarskih kultura (kukuruz, pšenica i dr.).

